Die Gammastrahlung des Kaliums.

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
genehmigt von der Philosophischen Fakultät
der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Heinz Schildhauer
aus Berlin.

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Juli 1934.
Tag der Promotion: 16. Oktober 1935.

Buch- und Kunstdruckerei Wilh. Postberg, Bottrop i.w.
1935

378

Referenten: Professor Dr. Kolhörster.
Professor Dr. von Ficker.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gliederung.

I. Einleitung.

II. Der Schwächungskoeffizient.

III. Bestimmung des Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung für Blei, Eisen und Kohle.

A. Die Strahlungsquelle.

B. Schwächungsmessungen.

1. Messungen mit Ionisationskammern.

a) Entlademethode (Luftfüllung).

α) Apparatur.

β) Messungen bei Vollraumstrahlung.

γ) Die Eve'sche Zahl für Kalium.

δ) Messungen bei Halbraumstrahlung.

η) Vergleich der mit Voll- und Halbraumstrahlung erhaltenen Ergebnisse.

b) Entlademethode (Xenonfüllung). Apparatur und Ergebnisse.

c) Vergleich der mit Luft- und Xenonfüllung erhaltenen Ergebnisse.

d) Auflademethode. Hochdruckapparatur, Meßmethode und Ergebnisse.

2. Messungen mit Zählrohr.

a) Apparatur.

b) Meßmethode und Ergebnisse.

3. Vergleich der mit Ionisationskammern und Zählrohr erhaltenen Ergebnisse.

C. Zusammenfassung sämtlicher mit Ionisationskammern erhaltenen Ergebnisse.

a) Der Massenschwächungskoeffizient.

b) Intensitätsverteilung und Durchdringungsfähigkeit der Kalium-Gammastrahlung.

IV. Die Aktivität des Kaliums.

V. Kalium als Ionisator in der Atmosphäre.

VI. Zusammenfassung.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544312_0020

I. Einleitung.

Längere Zeit war man der Ansicht, daß die Radioaktivität eine Eigenschaft der schweratomigen Elemente Radium, Thorium und Actinium allein sei, bis es Campbell und Wood (1) im Jahre 1906 gelang, durch Auffinden der Kalium- und Rubidium-Betastrahlung radioaktives Verhalten auch an leichtatomigen Substanzen festzustellen. Während man an den schweratomigen Elementen Alpha-, Beta- und Gammastrahlen beobachtete und Folgeprodukte als Ergebnisse dieses radioaktiven Vorganges nachweisen konnte, waren bei Kalium und Rubidium zunächst nur Betastrahlen festzustellen; auch irgendwelche Folgeprodukte wurden nicht gefunden. Man glaubte daher zwischen der Aktivität der Alkalimetalle und der der schweratomigen Elemente unterscheiden zu müssen. Jedoch sind keine Versuche bekannt geworden, diese Unterscheidung experimentell zu stützen. Es unterblieben auch zunächst Untersuchungen zum Nachweis einer Gammastrahlung an Kalium- und Rubidium, die nach den Erfahrungen über das gemeinsame Auftreten von Beta- und Gammastrahlen doch nahelagen.

Erst Kolhörster (2) fand 1928 bei Reststrahlungsmessungen im Steinsalz des Berlepschschachtes in Staßfurt Gammastrahlen an Kaliumsalzen. Er bestimmte die Intensität der Strahlung verschiedener Kalisalze und fand, daß die Jonisierungsstärke proportional mit dem Kaliumgehalt geht. Bei seinen Schwächungsmessungen konnte er die Gammastrahlung des Kaliums noch nach Durchsetzen einer Schicht von 6 cm Fe nachweisen. Außer einigen weichen Komponenten fand Kolhörster im Bergwerk eine schwache, aber sehr harte Komponente, die noch härter war, als die der härtesten Thorium C″-Gammastrahlen. Als Schwächungskoeffizienten erhielt er für Eisen $\mu_{Fe} = 0{,}20\ cm^{-1}$, woraus sich nach dem Dichteverhältnis für Blei $\mu_{Pb} = 0{,}29\ cm^{-1}$ errechnet.

Späterhin führten Mühlhoff (3) und Běhounek (4) Untersuchungen an Kaliumchlorid (KCl) aus. Mühlhoff bestimmte 1930 aus Zählrohrmessungen den Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung für Blei zu $\mu_{Pb} = 0{,}59\ cm^{-1}$ (nach Korrektur auf Parallelstrahlenbündel). Schwächungsmessungen von Běhounek im Jahre 1931 ergaben für Blei den Schwächungskoef-

fizienten $\mu_{Pb} = 0{,}58\ cm^{-1}$. Mühlhoff sowie Běhounek konnten bei ihren Messungen die von Kolhörster beobachtete harte Komponente nicht wiederfinden. Beide hielten es jedoch für möglich, daß infolge zu geringer KCl-Mengen bei ihren Messungen die Intensität der harten Komponente zum Nachweis zu klein gewesen sei. Außerdem dürften aber die ganz anderen Meßbedingungen bei ihren Untersuchungen für den Nachweis der harten Komponente nicht besonders geeignet gewesen sein.

Kolhörster arbeitete mit seinen Ionisationskammern (Entlademethode) unter sehr günstigen Bedingungen im Bergwerk. Er erzielte so durch Verwendung größtmöglicher KCl-Mengen und allseitigen Strahleneinfall ein Maximum an Intensität und durch die umgebenden Steinsalzschichten ein Minimum an störenden Zusatzstrahlen.

Mühlhoff und Běhounek dagegen führten die Beobachtungen im Laboratorium an der Erdoberfläche aus. Beide Beobachter hatten für ihre Schwächungsmessungen nur verhältnismäßig geringe KCl-Mengen zur Verfügung, arbeiteten also mit kleinen Intensitäten, deren Meßgenauigkeit durch die doppelt bis dreifach so große Störstrahlung am Erdboden (Höhen-, Erd- und Umgebungsstrahlung) eingeschränkt wurde. Zudem unterliegen diese Störstrahlen erheblichen Schwankungen.

Běhounek benutzte Ionisationskammern nach der Auflademethode, während Mühlhoff die Messungen mit einer Zählrohrapparatur durchführte. Die unterschiedlichen Ergebnisse von Kolhörster und den beiden anderen Beobachtern sind daher auch zum Teil auf die verschiedene Arbeitsweise von Zählrohr und Ionisationskammer durchzuführen, wofür sich in der vorliegenden Arbeit Hinweise ergeben.

Die genaue Kenntnis der Kalium-Gammastrahlung ist für verschiedene geophysikalische Untersuchungen außerordentlich wichtig. So führt man die Ionenbildung in den unteren Atmosphärenschichten (0—1000 m Höhe über dem Erdboden) hauptsächlich auf die ionisierende Wirkung von Erd- und Höhenstrahlung zurück. Die Intensität der Höhenstrahlung ist, abgesehen von geringen Schwankungen infolge des Barometereffekts, als konstant anzusehen. Die Intensität der Erdstrahlung dagegen ist von den im Boden befindlichen radioaktiven Substanzen Radium, Thorium nebst Folgeprodukten, aber auch vom Kalium abhängig. Die außerordentlich große Verbreitung des Kaliums an der Erdoberfläche macht es trotz der sehr geringen Strahlungsenergie gegenüber der des Radium (Intensitätsverhältnis nach Kolhörster $\frac{\text{Kalium}}{\text{Radium}} = 5 \cdot 10^{-11}$) zu einem dem

Radium und Thorium gleichwertigen Ionisierungsfaktor. So ergaben sich denn auch vor der Entdeckung der Kalium-Gammastrahlung bei Aufstellung von Ionisierungsbilanzen für die unteren Atmosphärenschichten stets erhebliche Differenzen zwischen der berechneten und der gemessenen Ionenzahl, die man zunächst auf Sekundäreffekte z. B. der Höhenstrahlung zurückführen zu können glaubte. Erst die Untersuchungen von Kolhörster führten zur Aufstellung befriedigender Ionisierungsbilanzen, die in neuerer Zeit von V. F. Hess (5) weiter fortgeführt wurden und die besondere Bedeutung einer so wichtigen Strahlungsquelle wie die der Kalium-Gammastrahlung zeigen. Da im Verlaufe der vorliegenden Untersuchung noch härtere Komponenten gefunden wurden, so ist am Schluß der Arbeit der Intensitätsverlauf der Kalium-Gammastrahlung bis zu 1000 m Höhe neu berechnet worden.

Von technischer Bedeutung ist die Möglichkeit, physikalische Analysen von Kalisalzen auf ihren Kaliumgehalt unter Verwendung ihrer Gammastrahlung durchzuführen. Diese dürften die Genauigkeit der bisher angewandten chemischen Analysen übertreffen, da sie sich auf die Gesamtmasse und nicht wie die chemischen Analysen auf einzelne Proben beziehen und in kürzerer Zeit auszuführen sind.

II. Der Schwächungskoeffizient.

Wenn Strahlung Materie durchsetzt, so erleidet der Energiestrom I innerhalb der im Absorber zurückgelegten Strecke dx einen Energieverlust dI. Dieser Energieverlust wird proportional der durchstrahlten Schichtdicke dx und dem Energiestrom I gesetzt. Danach gilt die Beziehung $-\frac{dI}{dx} = \mu I$, wo μ der auf die Längeneinheit reduzierte prozentuale Verlust bedeutet und als Schwächungskoeffizient bezeichnet wird (Einheit cm^{-1}). Durch Integration über eine endliche Schichtdicke x ergibt sich aus $\mu = -\frac{dI}{I}\frac{1}{dx}$ das exponentielle Schwächungsgesetz.

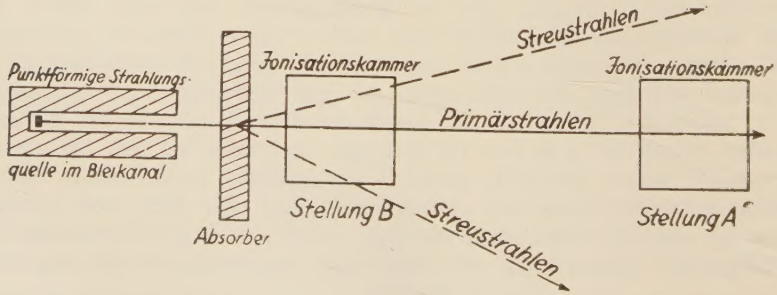
$$I_x = I_o \, e^{-\mu x}$$

Es ist: I_0 = Intensität ohne Absorber.
I_x = Intensität hinter Absorberdicke x.

Voraussetzungen für die Gültigkeit dieses einfachen Schwächungsgesetzes sind:

a) ein elementares homogenes Parallelstrahlenbündel,
b) Ausschaltung der von der Primärstrahlung im Absorber ausgelösten Sekundärstrahlung von der Messung.

Bei einer starkstrahlenden Substanz läßt sich die Anordnung so treffen, daß durch einen dickwandigen Bleikanal (10—20 cm Länge, Durchmesser 1—3 cm) ein schmales Parallelstrahlenbündel genügender Intensität ausgeblendet werden kann. Der Einfluß der im Absorber ausgelösten Sekundärstrahlen wird dann, wie z. B.



Figur 1.

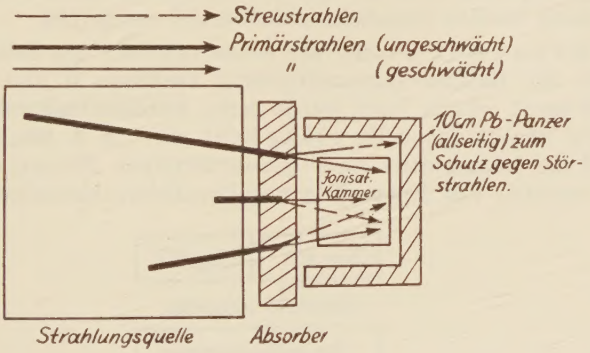
Kohlrausch (6) gezeigt hat, durch möglichst große Entfernung Absorber-Ionisationskammer (1 m) praktisch ausgeschaltet (Fig. 1, Stellung A). Befindet sich dagegen die Ionisationskammer direkt hinter dem Absorber, so kann durch Mitmessen von Sekundärstrahlen die Intensität der Primärstrahlung bis zu 50 % zu hoch bestimmt werden (Fig. 1, Stellung B).

Bei Absorptionsmessungen an sehr schwachen Substanzen muß man jedoch versuchen, möglichst viel aktive Substanz zur Messung zu bringen. Strahlungsquelle, Absorber und Meßapparat sind daher für diesen Fall dicht hintereinander aufzustellen, so daß auch die im Absorber ausgelöste Sekundärstrahlung zur Messung kommt. Der so bestimmte Schwächungskoeffizient μ setzt sich aus dem durch Photoeffekt bedingten Absorptionskoeffizienten σ und dem Streukoeffizienten τ zusammen; also

$$\mu = \sigma + \tau$$

Er ist somit abhängig von den durch den Aufbau der Apparatur bedingten Sekundäreffekten. Die mit verschiedenen Apparaturen gewonnenen Ergebnisse sind daher nicht ohne weiteres vergleichbar.

Ferner ist zu beachten, daß bei ausgedehnten Strahlungsquellen — Inhomogenität der Strahlung vorausgesetzt — von den entlegeneren Teilen nur die harten Strahlen zur Messung gelangen, während die weichen Strahlen schon innerhalb der Strahlungsquelle absorbiert werden (Fig. 2). Bei Messungen an einer ausgedehnten



Figur 2.

Strahlungsquelle werden sich dadurch kleinere Schwächungskoeffizienten ergeben als bei Messungen an Strahlungsquellen von nur einigen Zentimetern Ausdehnung. Das oben angeführte Schwächungsgesetz gilt dann nicht mehr in der einfachen Form.

Da, wie zu erwarten, Versuche, mittels eines Bleikanals von 40 cm Länge (Öffnung 10×25 cm; Wandstärke = 15 cm) ein Parallelstrahlenbündel auszublenden. zu geringe Intensitäten ergaben, wur-

den Absorptionsversuche unter absichtlicher Vernachlässigung der oben geforderten Meßbedingungen — Parallelstrahlenbündel und Ausschaltung von Sekundärstrahlungseffekten — entsprechend Fig. 2 ausgeführt. Dabei diente eine Seitenfläche eines KCl-Würfels von 2 m Kantenlänge als Strahlungsquelle.

Die Ergebnisse haben nun gezeigt, daß bei sehr geringen Strahlungsintensitäten aber großer strahlender Fläche auch Messungen o h n e Parallelstrahlenbündel und o h n e Berücksichtigung von Streueffekten übereinstimmende Werte des Schwächungskoeffizienten nach dem einfachen Schwächungsgesetz liefern können, wie die folgenden Meßergebnisse zeigen.

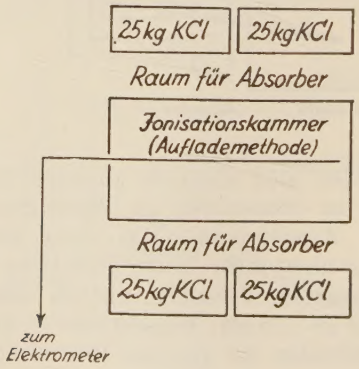
1. So ergab sich z. B. bei einstrahlender Fläche von 2200 cm^2 die Intensität ohne Absorber zu 8,61 Ionen cm^{-3} sec^{-1}. Wurde die Fläche auf 1760 cm^2 verkleinert, so ging die Intensität auf 6,73 Ionen cm^{-3} sec^{-1} zurück.

$$\text{Das Flächenverhältnis beträgt } \frac{2200}{1760} = 1{,}25,$$

$$\text{das Intensitätsverhältnis } \frac{8{,}61}{6{,}73} = 1{,}28.$$

Die geringe Abweichung (3 %) des Flächenverhältnisses vom Intensitätsverhältnis erlaubt also die Annahme, daß die geänderten Streustrahlungsbedingungen wenigstens in erster Näherung ohne Einfluß sind und der größte Teil der zur Messung gelangenden Strahlungsenergie einem breiten Parallelstrahlenbündel entspricht.

2. B ě h o u n e k erhielt, wie schon erwähnt, als Schwächungskoeffizient der Kalium-Gammastrahlung zwischen 0 und 4,5 cm Pb $\mu_{Pb} = 0{,}58\ cm^{-1}$. Auch hier wurde kein Parallelstrahlenbündel benutzt. Die Strahlungsquelle (93 kg KCl) war in 4 Büchsen zu je 25 kg auf die Längsseiten einer quaderförmigen Ionisationskammer (Fig. 3) verteilt. Zur Korrektion auf Parallelstrahlenbündel mischte



Figur 3.

Běhounek in die Strahlungsquelle 120 g thoriumfreie Joachimstaler Pechblende mit einem Gehalt von 62,08 % Uranelement, also $2{,}53 \cdot 10^{-5}$ g Radiumelement. Nach Abzug der Kalium-Intensitäten ergab sich als Schwächungskoeffizient für Ra C-Gammastrahlen $\mu_{Pb} = 0{,}53\ cm^{-1}$. Den gleichen Wert erhielt Kohlrausch mit Parallelstrahlenbündel und unter Vermeidung von Streustrahlungseinflüssen. Běhounek sah daher von einer Korrektion seines Kalium-Schwächungskoeffizienten auf Parallelstrahlenbündel ab. In der vorliegenden Arbeit wurde der Schwächungskoeffizient der Kalium-Gammastrahlung mit Ionisationskammern zwischen 0 und 5 cm Pb im Mittel zu $\mu_{Pb} = 0{,}55\ cm^{-1}$ bestimmt. Dieser Wert ist etwas kleiner als der von Běhounek gefundene ($\mu_{Pb} = 0{,}58\ cm^{-1}$). Dies wird auf die Wirkung der sehr harten Kaliumkomponente zurückzuführen sein, die in der Anordnung von Běhounek — 93 kg KCl gegenüber 14 000 kg KCl — sich nicht auswirken konnte.

Die hier angeführten Meßergebnisse lassen den Schluß zu, daß der aus dem einfachen Schwächungsgesetz ermittelte Schwächungskoeffizient dem wahren Werte nahe kommen wird.

III. Bestimmung des Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung für Blei, Eisen und Kohle.

A. Die Strahlungsquelle.

Zur Bestimmung des Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung wurden als Strahlungsquelle 14 000 kg KCl (98 %) = 7300 kg Kaliummetall benutzt, die in Säcken zu einem Würfel von 2,3 m Kantenlänge aufgebaut waren. Von der Frontseite des Kaliwürfels führte ein Kanal (Öffnung 60 × 45 cm, Tiefe 1,5 m) in die Mitte der Strahlungsquelle, um auch bei allseitigem Strahleneinfall (Vollraumstrahlung) Schwächungsmessungen ausführen zu können.

Kolhörster ermittelte die Eve'sche Zahl für Kalium im Mittel zu 0,31 Ionen cm^{-3} sec^{-1}; für Radium bestimmte er sie mit der gleichen Apparatur zu $6{,}2 \cdot 10^9$ Ionen cm^{-3} sec^{-1}. Das Intensitätsverhältnis $\frac{\text{Kalium}}{\text{Radium}}$ ergibt sich daraus zu $5 \cdot 10^{-11}$. Mühlhoff erhielt für das Intensitätsverhältnis $\frac{\text{Kalium}}{\text{Radium}} = 3{,}3 \cdot 10^{-11}$. Als Mittel errechnet sich daraus $\frac{\text{Kalium}}{\text{Radium}} = 4{,}2 \cdot 10^{-11}$.

Die Gammastrahlungsintensität der hier verwerteten 7300 kg Kaliummetall ist demnach äquivalent

$$7.3 \cdot 10^6 \text{ g K} \cdot 4.2 \cdot 10^{-11} \sim 0{,}03 \text{ mg Ra}$$

Hierbei ist zu beachten, daß durch Schwächung innerhalb der Strahlungsquelle die ausnutzbare Energie noch viel geringer wird. Trotz der sehr großen Strahlungsquelle ergab sich die Intensität im Innern des Würfels nur zu 88 Ionen cm^{-3} sec^{-1} (gemessen mit App. 15). Sie ist also nur um eine Größenordnung höher als die Intensität der natürlichen Zerstreuung.

B. Schwächungsmessungen.

1. Messungen mit Ionisationskammern.

a) Entlademethode; Luftfüllung.

α) *Apparatur.*

Die Ionisationskammern Nr. 15 und 17 (Strahlungsapparate von 2 Liter Volumen nach Kolhörster [7]) sind zylindrische

Gefäße von nahezu quadratischem Querschnitt und mit einer 2,5 mm starken Wandung aus Walzeisen. In der Mitte der Kammer befindet sich an einem Quarzbügel das Zweischlingenelektrometer nach Kolhörster. Das durch eine Sonde aufgeladene Elektrometer verliert entsprechend der Ionisierungsstärke mehr oder weniger schnell seine Ladung. Ein Mikroskop mit Okularskala gestattet die jeweilige Stellung der Fäden zur Skala von außen abzulesen. Die Skala wird in Volt geeicht. Der brauchbare Meßbereich liegt bei beiden Apparaten zwischen 100 und 360 Volt. Unter 100 Volt wird wegen Sättigungsmangel nicht mehr gemessen. Die Eichung der Elektrometer wurde vor und nach den Schwächungsmessungen vorgenommen und ergab jederzeit konstante Empfindlichkeit. Zur Bestimmung der Gasdichte besitzen die Kammern eingebaute Aneroid-Barometer und Thermometer. Die Gasdichte blieb während der gesamten Meßzeit konstant. Die Reststrahlung beider Apparate war unter Tage im Gr. Festsaal in der 4. Sohle (406 m Tiefe) des Berlepschschachtes in Staßfurt bestimmt worden. Die Gammastrahlung des im Steinsalz enthaltenen Kaliums (etwa 0,5 %) wurde dabei durch einen 9 cm starken Pb-Panzer abgeschirmt.

Konstanten der Ionisationskammern.

	App. 15 Günther & Tegetmeyer Braunschweig 5504	App. 17 Günther & Tegetmeyer Braunschweig 5661
Volumen	2280 cm^3	2280 cm^3
Kapazität d. Elektrometers	0,393 cm	0,411 cm
mittl. Empfindlichkeit im benutzten Bereich	2,3 Volt/Skt.	2,2 Volt/Skt.
Gasfüllung	Luft	Xenon
Gasdichte	0,001244	0,00423
Reststrahlung	0,158 Volt/Min.	0,145 Volt/Min.
Umrechnungsfaktor auf Ionen in Luft (760 mm, 0^0)	20,8	27,0

β) *Messungen bei Vollraumstrahlung.*

Zur Bestimmung des Absorptionskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung für Eisen und Blei bei allseitigem Strahleneinfall wurden mit App. 15 zunächst Absorptionsmessungen in der Mitte des Kaliwürfels vorgenommen. Die Intensität der Kalium-Gammastrahlung wurde ohne Absorber, dann hinter allseitig 5 cm Pb und 5 cm Fe bestimmt. In der Mitte der Strahlungsquelle wurden zu diesem Zweck ein den App. 15 umschließender 5 cm starker Pb- bzw. Fe-Panzer eingebaut. Als Panzermaterial dienten Eisen bzw. Bleiquader (Größe: $5 \times 5 \times 30$ cm). Gemessen wurde wie folgt: Das Elektrometer wurde mittels Sonde auf etwa 360 Volt aufgeladen. Nach kurzer

Einlaufszeit wurde die Stellung der Elektrometerfäden abgelesen und der Apparat in die Mitte des Kaliwürfels gestellt. Nach Ablauf einer Stunde wurde der Apparat zum Ablesen wieder herausgenommen. Das Ein- und Heraussetzen des Apparates nahm nur wenige Sekunden in Anspruch, so daß keine Korrektion gegenüber der Meßzeit erforderlich wurde. Aus der Eichkurve des Elektrometers wurde der durch die Ionisation von Kalium-, Höhen- und Reststrahlung verursachte Voltverlust ermittelt. Als Maß für die Strahlungsintensität ist der Voltverlust in der Minute angegeben. Tabelle 1 enthält die im Kaliwürfel gemessenen mittleren Intensitätswerte.

Tabelle 1.

Gesamtintensität:

	ohne Absorber	hinter 5 cm Fe	hinter 5 cm Pb
mittl. Voltverlust in der Minute	4,097 Volt/Min.	0,840 Volt/Min.	0,423 Volt/Min.
max. Schwankung in d. Meßreihen	± 1,7 %	± 2,0 %	± 2,4 %
Meßzeit	600 Min.	1137 Min.	1575 Min.

Außer der Kalium-Gammastrahlung bewirken bei diesen Messungen noch Reststrahlung (einschließlich Isolationsverlust) und Höhenstrahlung den Voltabfall am Elektrometer. Erd-, Luft- und Umgebungsstrahlung werden durch 1 m KCl (= 18 cm Pb) praktisch völlig ausgeschaltet.

Die Reststrahlung ist unabhängig von der Umgebung des Apparates. Sie wird durch die in den Gefäßwänden enthaltenen Spuren von radioaktiven Substanzen hervorgerufen und ist demnach über die Meßzeit als konstant anzusehen. Sie wurde, wie schon erwähnt, zusammen mit dem Isolationsverlust im Steinsalz des Berlepschschachtes in Staßfurt im Mittel zu 0,158 Volt/Min. ermittelt.

Die Bestimmung der Höhenstrahlungsintensität enthält dagegen gewisse Unsicherheiten. Die Höhenstrahlung wird, bevor sie in den Apparat gelangt, durch die sich darüber befindende KCl-Schicht (1 m) geschwächt, außerdem noch durch den 5-cm-Pb- bzw. 5-cm-Fe-Panzer. Man kennt die Schwächung der Höhenstrahlung nicht genau genug, kann aber Grenzwerte zur Korrektion ermitteln. Für die Intensität der Höhenstrahlung sind 3 verschiedene Werte verwendet worden, je nachdem der Apparat ohne Absorber, mit Blei- oder mit Eisen-Panzer gemessen wird. Es wäre naheliegend gewesen, einen gleich großen Würfel aus NaCl — das ja nicht strahlt und entsprechend wie KCl abschirmt — aufzubauen und in diesem Würfel die Intensität der Höhenstrahlung für die 3 Fälle zu bestimmen. Es gelang jedoch die Intensität der Höhenstrahlung im Kaliwürfel hin-

reichend genau zu ermitteln. Hierzu wurden die im Höhenstrahlungslaboratorium gewonnenen Intensitäten und Absorptionskoeffizienten benutzt. Es zeigte sich, daß die Verwendung von Extremwerten genügend sichere Korrektion lieferte.

I. So wurde mit App. 15 (G. & T. 5504) im Höhenstrahlungslaboratorium die Intensität der Höhenstrahlung (nach Abzug der Reststrahlung) auf einem 10-cm-Pb-Panzer zu 0,132 Volt/Min., in demselben Panzer zu 0,067 Volt/Min. gemessen. Aus diesen Werten errechnet sich als scheinbarer Schwächungskoeffizient für die Höhenstrahlung

$$\frac{I_x}{I_o} = \frac{0{,}067}{0{,}132} = 0{,}507 = e^{-\mu d}\ ;\ \mu d = 0{,}679\ \mu_{Pb} = 0{,}068\ cm^{-1}$$

Der auf dem Panzer gemessene Wert enthält außer der Höhenstrahlungsintensität noch die Intensitäten von Zusatzstrahlungen (Luft- und etwas Umgebungsstrahlung), während der Wert hinter 10 cm Pb nur die Intensität der Höhenstrahlung ergibt, da Luft und Umgebungsstrahlung hinter 10 cm Pb praktisch nicht mehr wirksam werden. Dieser Schwächungskoeffizient $\mu_{Pb} = 0{,}068\ cm^{-1}$ stellt also einen Mittelwert der Durchdringungsfähigkeit von Höhen- und Zusatzstrahlung dar. Wird dann aus der Höhenstrahlungsintensität hinter 10 cm Pb und dem angegebenen Schwächungskoeffizienten der Intensitätswert hinter 18 und mehr Zentimetern Pb berechnet, so werden diese errechneten Intensitäten einen Minimalwert darstellen; denn die hinter 10 cm Pb noch wirksamen Höhenstrahlen besitzen eine größere Durchdringungsfähigkeit als dem verwendeten Schwächungskoeffizienten entspricht. Die in Spalte 1 der Tab. 2 berechneten Höhenstrahlungsintensitäten können somit als untere Grenze der wahren Intensitäten aufgefaßt werden.

II. Aus Flugzeug- und Ballonaufstiegen ermittelte Suckstorff (8) als Bodenintensität der Höhenstrahlung 2,08 Ionen $cm^{-3}\ sec^{-1}$. Für Apparat 15 entspricht dieser Intensität ein Voltverlust von 0,100 Volt/Min. (Umrechnungsfaktor 20,8). Neuere Bestimmungen des Schwächungskoeffizienten der Höhenstrahlung aus dem „vertikalen Zählrohreffekt" ergeben für 10-cm-Bleipanzer $\mu_{Pb} = 0{,}0071\ cm^{-1}$ (19). Bei Berechnung der Höhenstrahlungsintensität hinter 18 cm Pb aus dem Bodenwert von 0,100 Volt/Min. und dem Schwächungskoeffizienten $\mu_{Pb} = 0{,}0071\ cm^{-1}$ werden sich zu große Höhenstrahlungsintensitäten ergeben, da dieser Schwächungskoeffizient nur für härtere Höhenstrahlen gilt, deren Bodenintensität sicher kleiner als 0,100 Volt/Min. ist. Die in Spalte 2 berechneten Höhenstrahlungsintensitäten können daher als obere Grenze der wahren Intensitäten angesehen werden.

III. Ein Mittelwert zwischen beiden Berechnungen ist folgender: Für die Berechnung der Höhenstrahlungsintensität hinter starken Absorbern wird als Ausgangswert die im Höhenstrahlungslaboratorium hinter 10 cm Pb bestimmte Intensität genommen. Diese beruht zum größten Teil auf der ionisierenden Wirkung härterer Höhenstrahlen, für welche der Schwächungskoeffizient $\mu_{Pb} = 0{,}0071$ cm^{-1} gilt. Die hiermit ausgeführte Berechnung dürfte den wirklichen Höhenstrahlungsintensitäten wohl am nächsten kommen (Spalte 3).

Tabelle 2.

	1.	2.	3.
Schwächungskoeffizient d. Höhenstrahlung für Blei	0,068 cm^{-1}	0,0071 cm^{-1}	0,0071 cm^{-1}
in Seehöhe			
Höhenstrahlungsintensität von App. 15 im 10-cm-Pb-Panzer	0,67 Volt/Min.	—	0,067 Volt/Min.
auf 10-cm-Pb-Panzer		0,100 Volt/Min.	
Danach errechnet sich:			
Höhenstrahlungsintensität nach 1 m KCl = 18 cm Pb	0,039 Volt/Min.	0,088 Volt/Min.	0,063 Volt/Min.
nach 1 m KCl + 5 cm Fe = 21 cm Pb	0,036 „	0,086 „	0,062 „
nach 1 m KCl + 5 cm Pb = 23 cm Pb	0,028 „	0,085 „	0,061 „
Hieraus ergibt sich:			
Gesamtintensität im Kaliwürfel ohne Absorber	4,097 Volt/Min.	4,097 Volt/Min.	4,097 Volt/Min.
abzüglich Höhenstr.	—0,039 „	—0,088 „	—0,063 „
abzüglich Reststr.	—0,158 „	—0,158 „	—0,158 „
Intensität der Kalium-Gammastrahlung ohne Absorber	3,900 Volt/Min.	3,851 Volt/Min.	3,876 Volt/Min.
Mittel aus Spalte 1 und 2 = 3,876 Volt/Min.			
Gesamtintensität im Kaliwürfel nach 5 cm Fe	0,840 Volt/Min.	0,840 Volt/Min.	0,840 Volt/Min.
abzüglich Höhenstr.	—0,036 „	—0,086 „	—0,062 „
abzüglich Reststr.	—0,158 „	—0,158 „	—0,158 „
Intensität der Kalium-Gammastrahlung hinter 5 cm Eisen	0,651 Volt/Min.	0,596 Volt/Min.	0,620 Volt/Min.
Mittel aus Spalte 1 und 2 = 0,624 Volt/Min.			

	1.	2.	3.
Gesamtintensität im Kaliwürfel nach 5 cm Pb	0,423 Volt/Min.	0,423 Volt/Min.	0,423 Volt/Min.
abzüglich Höhenstr.	—0,028 „	—0,085 „	—0,061 „
abzüglich Reststr.	—0,158 „	—0,158 „	—0,158 „
Intensität der Kalium-Gammastrahlung hinter 5 cm Blei	0,237 Volt/Min.	0,180 Volt/Min.	0,204 Volt/Min.

Mittel aus Spalte 1 und 2 = 0,208 Volt/Min.

Wie man sieht, stimmen die Mittelwerte aus den extremen Annahmen (Spalte 1 und 2) mit denen aus Spalte 3 bestimmten Korrektionsgrößen für Höhenstrahlung etwa überein.

Mit den 3 Annahmen über die Korrektion auf die zusätzliche Höhenstrahlungsintensität ergeben sich folgende Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung.

Für Eisen zwischen 0,0—5,0 cm:

1. $\frac{Ix}{Io} = \frac{0{,}651}{3{,}900} = 0{,}1670 = e^{-\mu d}$; $\mu d = 1{,}77$ $\mu_{Fe} = 0{,}35\ cm^{-1}$

2 $\frac{Ix}{Io} = \frac{0{,}596}{3{,}851} = 0{,}1550 = e^{-\mu d}$; $\mu d = 1{,}86$ $\mu_{Fe} = 0{,}37\ cm^{-1}$

Mittel 1—2 $\mu_{Fe} = 0.36\ cm^{-1}$

3. $\frac{Ix}{Io} = \frac{0{,}620}{3{,}876} = 0{,}1600 = e^{-\mu d}$; $\mu d = 1{,}83$ $\mu_{Fe} = 0{,}37\ cm^{-1}$

Für Blei zwischen 0,0—5,0 cm:

1. $\frac{Ix}{Io} = \frac{0{,}237}{3{,}900} = 0{,}0608 = e^{-\mu d}$; $\mu d = 2{,}80$ $\mu_{Pb} = 0{,}56\ cm^{-1}$

2, $\frac{Ix}{Io} = \frac{0{,}180}{3{,}851} = 0{,}0468 = e^{-\mu d}$; $\mu d = 3{,}06$ $\mu_{Pb} = 0{,}61\ cm^{-1}$

Mittel 1—2 $\mu_{Pb} = 0{,}59\ cm^{-1}$

3. $\frac{Ix}{Io} = \frac{0{,}204}{3{,}876} = 0{,}0526 = e^{-\mu d}$; $\mu d = 2{,}95$ $\mu_{Pb} = 0{,}59\ cm^{-1}$

Die so ermittelten Kalium-Schwächungskoeffizienten weichen nur um 5 % (für Eisen) bzw. 8 % (für Blei) im Höchstfalle voneinander ab. Hiernach ergeben sich als Schwächungskoeffizienten für die Kalium-Gammastrahlung bei Vollraumstrahlung zwischen 0—5 cm Absorberdicke für Blei $\mu_{Pb} = 0{,}59\ cm^{-1}$, für Eisen $\mu_{Fe} = 0{,}37\ cm^{-1}$. Die Blei-Werte stehen in guter Übereinstimmung mit den von Mühlhoff (0—8,5 cm Pb) und Běhounek (0—4,5 cm Pb) gefundenen Schwächungskoeffizienten, nämlich $\mu_{Pb} = 0{,}59\ cm^{-1}$ bzw. $0{,}58\ cm^{-1}$.

γ) *Die Eve'sche Zahl für Kalium.*

Aus den mit Apparat 15 im Kaliwürfel vorgenommenen Intensitätsmessungen läßt sich die Eve'sche Zahl für Kalium unter Voraussetzung eines unendlich ausgedehnten Mediums nach folgender Beziehung berechnen:

$$K = \frac{q\,\mu/\varrho}{4\,\pi\,G}$$

Hierin bedeuten: q = die in einem Ionisationsgefäß inmitten der strahlenden Substanz gemessenen Intensität in Ionen cm^{-3} sec^{-1}.

μ/ϱ = der mittlere Massenschwächungskoeffizient der zu untersuchenden Strahlung.

G = der Gehalt des Mediums an strahlender Substanz in g/g.

Die Intensität der Kalium-Gammastrahlung wurde im Kaliwürfel zu 3,876 Volt/Min. (vgl. Tab. 2 Spalte 3) oder 80,5 Ionen cm^{-3} sec^{-1} bestimmt. Als mittlerer Massenschwächungskoeffizient wird der mit der Hochdruckapparatur zwischen 0 —15 cm Pb = 0 —83,5 cm KCl ermittelte Wert von 0,027 cm^{-2} g^{-1} eingesetzt (Tab. 13), da dieser die größte durchstrahlte KCl-Menge erfaßt. Der Kaliumgehalt beträgt 0,54 g pro Gramm KCl.

Die Eve'sche Zahl für Kalium ergibt sich somit zu

$$K = \frac{80{,}5 \cdot 0{,}027}{12{,}6 \cdot 0{,}54} = 0{,}32 \text{ Ionen } cm^{-3}\ sec^{-1}$$

Dieser Wert steht in guter Übereinstimmung mit dem von Kolhörster für Apparat 15 ermittelten Wert von 0,28 Ionen cm^{-3} sec^{-1}. Unter Benutzung des von Kolhörster mit Apparat 15 für Radium gefundenen Wertes von $5{,}5 \cdot 10^9$ Ionen cm^{-3} sec^{-1} ergibt sich das Intensitätsverhältnis Kalium/Radium zu

$$\frac{0\,32}{5{,}5 \cdot 10^9} = 5{,}8 \cdot 10^{-11}$$

Kolhörster bestimmte das Intensitätsverhältnis Kalium-Radium zu $5{,}0 \cdot 10^{-11}$, während Mühlhoff mit Zählrohrmessungen $3{,}3 \cdot 10^{-11}$ erhielt.

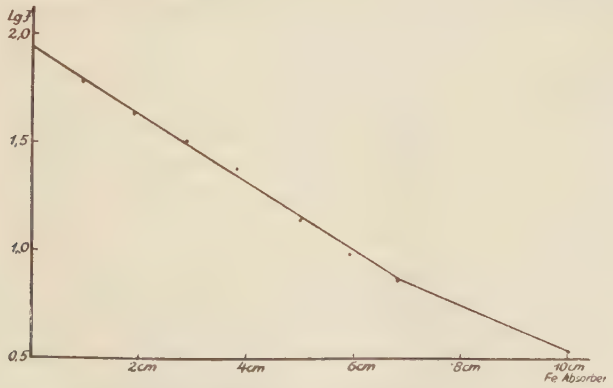
δ) *Messungen bei Halbraumstrahlung.*

Für die Schwächungsmessungen mit Halbraumstrahlung wurde App. 15 auf einen Holztisch in die Mitte einer Seitenfläche des Kaliwürfels gestellt. Der Apparat wurde allseitig mit 10 cm Pb bis auf die der Strahlungsquelle anliegende Seite gepanzert; hier ließen sich die verschieden starken Absorber in den Strahlengang einschalten. Umgebungs- und Luftstrahlung sind durch den Blei-Panzer bzw. Kaliwürfel praktisch ausgeschaltet; die Intensität der Höhenstrahlung wurde durch die 10 cm starke Bleidecke um etwa 30 % herabgesetzt. Bei der geringen Intensität der Kalium-Gammastrahlung

(nur 22 % der Intensität im Kaliwürfel) mußten die Zusatzstrahlungen möglichst stark unterdrückt werden.

Die Messungen mit Halbraumstrahlung wurden ausgeführt: 1. zum Vergleich mit den Ergebnissen der Vollraumstrahlung, 2. zur Untersuchung des Schwächungsverlaufes bis 15 cm Fe bzw. Pb; denn im Kaliwürfel war es wegen der Enge des Kanals nicht möglich, über 5 cm Absorberdicke hinauszugehen.

Die Berechnung der Schwächungskoeffizienten ist bei Halbraumstrahlung sicherer, da die größtenteils aus der Vertikalen kommenden Höhenstrahlen bei allen Messungen immer durch dieselben 10 cm Pb geschwächt werden. Nur ein kleiner Teil der von der Höhenstrahlung ausgelösten Sekundärstrahlen kommt von der Horizontalen und dem Kaliwürfel (2,3 m KCl = 43 cm Pb). Die seitlich einfallenden Sekundärstrahlen besitzen eine so geringe Intensität, daß ihre Intensitätsschwächung durch die 43 cm Pb des Kaliwürfels kaum stärker ins Gewicht fällt als durch die 10 cm Pb des Panzers. Jedenfalls wird die Intensität der Höhenstrahlung im 10-cm-Pb-Panzer im Kalihaus trotz der seitlichen Abschirmung durch den Kaliwürfel kaum merklich von der im 10-cm-Pb-Panzer im Höhenstrahlungshaus abweichen. Dagegen mag die Intensität der Erdstrahlung im Kalihaus etwas höher als im Höhenstrahlungslaboratorium sein. In letzterem wird die Erdstrahlung durch einen Eisen-Beton-Panzer (Wasseräquivalent = 1,5 m; Bleiäquivalent = 14 cm) und durch die 10 cm Pb des Panzers (insgesamt also 24 cm Pb) geschwächt. Im Kalihaus dagegen hat die Erdstrahlung nur 10 cm Pb zu durchsetzen. Diese Unterschiede der Erd- und Höhenstrahlungsintensität an den beiden Meßplätzen sind aber wohl zu gering, so daß der für Rest- und Höhenstrahlung benutzte Wert von 0,221 Volt/Min. (bei 750 mm Hg Barometerstand) ohne besondere Korrektion von den



Figur 4.

Schwächung der Kalium-Gammastrahlung in Eisen. Gemessen mit App. 15.

gemessenen Gesamtintensitäten abgezogen werden kann. Tabelle 3 enthält die mit App. 15 (G. & T. 5504) bei Halbraumstrahlung für Eisen und Blei bestimmten Schwächungskoeffizienten bei verschiedener Absorberdicke. (Vgl. auch die Eisenschwächungskurve Fig. 4.)

Tabelle 3.

Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung für Eisen und Blei. Gemessen mit App. 15 (Luftfüllung) bei Halbraumstrahlung.

Fe — Absorberstärke in cm	$\frac{Ix}{Io} = e^{-\mu d}$ (Intensitäten in Volt/Min.)	μd	μ_{Fe}
0,00 — 0,04	$\frac{0,828}{0,850} = 0,9656$	0,035	0,87 cm^{-1}
0,04 — 0.95	$\frac{0,600}{0,828} = 0,7249$	0,321	0,36 cm^{-1}
0,95 — 1,90	$\frac{0\,436}{0,600} = 0,7265$	0,319	0,34 cm^{-1}
1,90 — 2,85	$\frac{0\,324}{0,436} = 0.7430$	0,297	0,31 cm^{-1}
2,85 — 3,80	$\frac{0,238}{0,324} = 0,7350$	0,308	0,32 cm^{-1}
3,80 — 5,00	$\frac{0,136}{0,238} = 0,5718$	0,559	0,47 cm^{-1}
5,00 — 5,95	$\frac{0,095}{0,136} = 0.6985$	0,359	0,38 cm^{-1}
5,95 — 6,80	$\frac{0,072}{0,095} = 0,7580$	0,277	0,29 cm^{-1}
6,80 — 10,00	$\frac{0,034}{0,072} = 0,4720$	0,750	0,23 cm^{-1}
Hiermit wurden noch folgende Schwächungskoeffizienten berechnet:			
0.00 — 0,95	$\frac{0,600}{0,870} = 0,6896$	0,372	0,39 cm^{-1}
0,00 — 5,00	$\frac{0,136}{0,847} = 0.1610$	1,828	0,37 cm^{-1}
5,00 — 10.00	$\frac{0,034}{0.136} = 0,2500$	1,383	0,28 cm^{-1}
0 — 10 cm	$\frac{0,043}{0,851} = 0,0399$	3,225	0,32 cm^{-1}
Pb — Absorberstärke in cm			μ_{Pb}
0,00 — 5,00	$\frac{0,054}{0,851} = 0,0635$	2,756	0,55 cm^{-1}
5,00 — 10,00	$\frac{0,022}{0.054} = 0,4065$	0,901	0,18 cm^{-1}
0,00 — 10.00	$\frac{0,022}{0,851} = 0,0257$	3,66	0,37 cm^{-1}

η) *Vergleich der mit Voll- und Halbraumstrahlung erhaltenen Ergebnisse.*

Die mit Voll- und Halbraumstrahlung bestimmten Schwächungskoeffizienten stimmen trotz verschiedener Streustrahlungsbedingungen recht gut überein. Sie beziehen sich auf Absorberdicken von 0—5 cm und sind in Tab. 4 zusammengestellt.

Tabelle 4.

Vollraumstrahlung	Halbraumstrahlung	Mittel
$\mu_{Fe} = 0{,}37\ cm^{-1}$	$\mu_{Fe} = 0{,}37\ cm^{-1}$	$\mu_{Fe} = 0{,}37\ cm^{-1}$
$\mu_{Pb} = 0{,}59\ cm^{-1}$	$\mu_{Pb} = 0{,}55\ cm^{-1}$	$\mu_{Pb} = 0{,}57\ cm^{-1}$

Die geringe Abweichung der Pb-Schwächungskoeffizienten (etwa ± 4 %) voneinander ist bei der kleinen Intensität hinter 5 cm Pb (0,275 Volt/Min.) und der damit verbundenen Unsicherheit zu erwarten. Nach Abzug von 0.221 Volt/Min. (Rest- + Höhenstrahlungsintensität) ergibt sich die Intensität der Kalium-Gammastrahlung zu 0,054 Volt/Min. Sie ist also nur mit 20 % an der Gesamtionisation beteiligt, so daß deren Schwankungen — z. B. durch den Barometereffekt der Höhenstrahlung — schon Abweichungen des Absorptionskoeffizienten bis zu 15 % hervorrufen können. Um diese Fehlerquellen auszuschalten, sind die Intensitätsbestimmungen hinter 5 cm Fe bzw. Pb bei dem gleichen Barometerstande von 750 mm Hg vorgenommen worden, also bei gleichem Luftdruck, wie die Bestimmung des Rest- und Höhenstrahlungswertes von 0,221 Volt/Min.

Die mit Halbraumstrahlung aufgenommene Schwächungskurve zeigt bis 6,80 cm Fe geradlinigen Verlauf, was einem mittleren Schwächungskoeffizienten von $\mu_{Fe} = 0{,}37\ cm^{-1}$ entspricht. Darüber hinaus ergeben zwischen 6,80 und 10,0 cm Fe die Messungen das Vorhandensein einer sehr durchdringenden Komponente, deren Schwächungskoeffizient $\mu_{Fe} = 0{,}23\ cm^{-1}$ beträgt. Die Schwankungen der von Zentimeter zu Zentimeter bestimmten Schwächungskoeffizienten sind natürlich durch die kleinen Intensitäten bedingt; im Mittel heben sie sich auf.

b) Entlademethode; Xenonfüllung.

Apparatur und Meßergebnisse.

Die Ionisationsausbeute einer Ionisationskammer kann durch Erhöhung des Gasdruckes ebenso wie durch Füllung mit einem Gas hoher Dichte erheblich gesteigert werden. Da App. 15 nur für Normaldruck gebaut ist, kann durch Füllung der Ionisationskammer mit einem schweren Edelgas wie Xenon eine Erhöhung der Empfindlichkeit erzielt werden. Im Höhenstrahlungslaboratorium war von

V. Masuch (9) mit App. 17 die Ionisationswirkung von Gamma- und Höhenstrahlen in Sauerstoff und Xenon bestimmt worden.

Das Dichteverhältnis des verwendeten Xenon zu Sauerstoff beträgt nach Messungen der Physikalischen Technischen Reichsanstalt 4,1 [vgl. Masuch (9)]. Das Ionisationsverhältnis Xenon/Sauerstoff ergab sich für durch 10 cm Pb gefilterte Höhenstrahlen zu 4,4; bei Messungen ohne jede Abschirmung stieg es auf 6,6. Im letzten Fall wurden also noch die weichen Höhenstrahlen und vor allen Dingen die Gammastrahlen der Umgebung mitgemessen. Für das Wirkungsverhältnis der RaC-Gammastrahlen zu Höhenstrahlen fand Masuch

$$\text{bei Xenonfüllung } \frac{31{,}9 \cdot 10^9 \text{ Ionen cm}^{-3} \text{ sec}^{-1}}{7{,}83 \text{ Ionen cm}^{-3} \text{ sec}^{-1}} = 4{,}10 \cdot 10^9,$$

$$\text{bei Luftfüllung } \frac{5{,}82 \cdot 10^9 \text{ Ionen cm}^{-3} \text{ sec}^{-1}}{1{,}78 \text{ Ionen cm}^{-3} \text{ sec}^{-1}} = 3{,}27 \cdot 10^9.$$

Es ist also bei Messungen von Gammastrahlen in Gegenwart von Höhenstrahlen von Vorteil, Xenon als Füllgas zu benutzen, da dann die Wirkung der radioaktiven Gammastrahlen bevorzugt und die der Höhenstrahlen etwas unterdrückt wird. Es lag daher nahe, die mit Xenon gefüllte Ionisationskammer zu weiteren Absorptionsmessungen für die Gammastrahlung des Kaliums zu verwenden, welche mir in dankenswerter Weise von Herrn Masuch zur Verfügung gestellt wurde. App. 17 eignete sich deswegen gut zu diesen Vergleichsmessungen, da er nahezu die gleichen Konstanten wie App. 15 hat (vgl. S. 13), so daß sich eine Umfüllung des Xenons erübrigte.

Meßmethode und Auswertung der Ergebnisse waren die gleichen wie bei App. 15 für Halbraumstrahlung. Die mit App. 17 (Xenonfüllung) erhaltenen Schwächungskoeffizienten sind in Tab. 5 zusammengestellt.

Tabelle 5.

Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung für Blei und Eisen. Gemessen mit App. 17 (Xenonfüllung) bei Halbraumstrahlung.

Fe — Absorberstärke in cm	$\frac{Ix}{Io} = e^{-\mu d}$	μd	μ_{Fe}
0 0 — 5,0	$\frac{0{,}576}{3{,}343} = 0{,}1720$	1, 60	0,35 cm^{-1}
5,0 — 10,0	$\frac{0{,}202}{0{,}576} = 0{,}3500$	1,049	0,21 cm^{-1}
0,0 — 10,0	$\frac{0{,}202}{3{,}343} = 0{,}0604$	2,806	0,28 cm^{-1}

Pb — Absorbestärke in cm			μd	μ_{Pb}
0,0 — 5,0	$\frac{0,213}{3,343}$	= 0,0635	2,757	0,55 cm^{-1}
5 0 — 10,0	$\frac{0,106}{0,213}$	= 0,4925	0,697	0,14 cm^{-1}
0,0 — 10,0	$\frac{0,106}{3,343}$	= 0,0317	3.45	0,35 cm^{-1}

Tabelle 6.

Vergleich der mit Luftfüllung (App. 15) und Xenonfüllung (App. 17) bei Halbraumstrahlung für Blei und Eisen erhaltenen Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung.

Fe-Absorberstärke in cm	Luftfüllung	Xenonfüllung
0,0— 5,0	$\mu_{Fe} = 0,37\ cm^{-1}$	$\mu_{Fe} = 0,35\ cm^{-1}$
5,0—10,0	$\mu_{Fe} = 0,28\ cm^{-1}$	$\mu_{Fe} = 0,21\ cm^{-1}$
0,0—10,0	$\mu_{Fe} = 0,32\ cm^{-1}$	$\mu_{Fe} = 0,28\ cm^{-1}$
Pb-Absorberstärke in cm		
0,0— 5,0	$\mu_{Pb} = 0,55\ cm^{-1}$	$\mu_{Pb} = 0,55\ cm^{-1}$
5,0—10,0	$\mu_{Pb} = 0,18\ cm^{-1}$	$\mu_{Pb} = 0,14\ cm^{-1}$
0,0—10,0	$\mu_{Pb} = 0,37\ cm^{-1}$	$\mu_{Pb} = 0,35\ cm^{-1}$

c) Vergleich der mit Luft- und Xenonfüllung erhaltenen Ergebnisse.

In Tab. 6 sind die mit Apparat 15 (Luftfüllung) und Apparat 17 (Xenonfüllung) erhaltenen Schwächungskoeffizienten zum Vergleich eingetragen. Wie Tab. 6 zeigt, treten bei der Bestimmung des Schwächungskoeffizienten, wenn Xenon statt Luft als Füllgas benutzt wird, keine wesentlichen Unterschiede auf. Es ist jedoch zu beachten, daß sämtliche mit Xenon bestimmten Schwächungskoeffizienten etwas kleiner als die mit Luftfüllung bestimmten sind. Auf diese Tatsache wird bei der Besprechung der mit Ionisationskammer und Zählrohr erhaltenen Ergebnisse (Seite 32) noch eingegangen werden. Der Schwächungskoeffizient zwischen 5 und 10 cm Pb bzw. Fe zeigt bereits das Vorhandensein der von Kolhörster im Bergwerk gefundenen harten Kalium-Komponente.

d) Messungen nach der Auflademethode.

Hochdruckapparatur, Meßmethode und Meßergebnisse.

Für die Messungen hinter 15 cm Pb bzw. Fe wurde eine mit hohem Druck gefüllte und nach der Auflademethode arbeitende Ionisationskammer benutzt, die von Steinke als Hochdruckapparatur für Höhenstrahlungsmessungen entwickelt worden ist. Als Ionisations-

kammer dient ein zylindrisches Stahlgefäß (22,6 l Inhalt, 3 mm Wandstärke), in dessen Zylinderachse eine stabförmige Elektrode isoliert eingeführt ist; sie ist mit einem Lindemann-Elektrometer verbunden. Gefüllt ist die Kammer mit 10,5 Atm. CO_2 (nach Angaben von Herrn Steinke).

Die Messungen wurden wie folgt vorgenommen: Eine Spannung von + 200 Volt liegt dauernd an der Gefäßwandung. Wird die Erdung des Systems Innenelektrode—Elektrometer aufgehoben, so beginnt infolge Aufladung der Innenelektrode der Elektrometerfaden zu wandern; der durch das ionisierte Gasvolumen fließende Strom lädt die Innenelektrode positiv auf. Nach kurzer Einlaufzeit wird der Faden beim Durchlaufen von Skt. + 2 (Aufladung der Innenelektrode 0 Volt) angestoppt. Beim Durchgang durch Skt + 24 (Auflad. d. Innenelektr. + 1 Volt) wird mittels eines Influenzierungskondensators eine Spannung von — 2 Volt auf das System Innenelektrode—Elektrometer influenziert (Auflad. d. Innenelektr. — 1 Volt), wodurch der Elektrometerfaden auf Skt. — 20 zurückgeworfen wird. Nun wandert der Faden wieder zum Skt. + 2 (Auflad. d. Innenelektr. 0 Volt), wo er abgestoppt wird.

Durch dieses Verfahren wird der Isolationsverlust äußerst niedrig gehalten, da die Isolatoren des Systems Innenelektrode—Elektrometer elektrisch kaum belastet sind. Die influenzierte Elektrizitätsmenge ist durch das Produkt Influenzierungsspannung × Kapazität des Influenzierungskondensators bestimmt; sie ist gleich der durch den Ionisationsstrom auf die Innenelektrode geflossenen Elektrizitätsmenge.

Sämtliche Schaltvorgänge werden durch Relais vorgenommen, die durch Druckknopfschalter von einem Schaltkasten aus zu betätigen sind.

Konstanten der Hochdruckapparatur (Nr. 7).

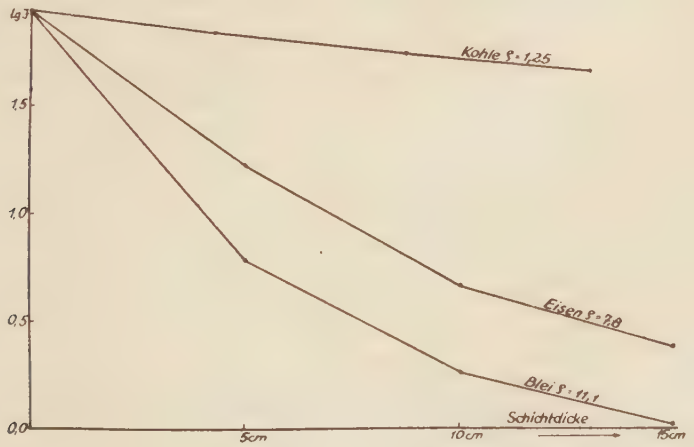
Volumen der Ionisationskammer	: 22,6 l
Füllgas	: CO_2
Druck	: 10,5 Atm.
Wandspannung	: + 200 Volt (Anodenbatterien)
Influenzierungsspannung	: + 2,020 Volt (Akku-Zelle)
Kapazität des Systems (Innenelektrode — Elektrometer — Influenzierungskondensator)	: 14,91 cm
Umrechnungsfaktor auf Ionen cm^{-3} sec^{-1} in Normalluft	: 16,56
Anzahl der Ionen cm^{-3} sec^{-1}	: 16,56/Meßzeit in Min.

Zur Bestimmung der Schwächungskoeffizienten wurde die Ionisationskammer in der gleichen Weise wie App. 15 und 17 in

einem 10-cm-Pb-Panzer dicht an die Meßfläche des Kaliwürfels gebracht. Sämtliche Leitungen zwischen Ionisationskammer und Schaltkasten sind vor Beginn der Messungen mit einem hochempfindlichen Galvanometer auf ihre Isolation untersucht worden. Die Ablaufzeiten des Fadens wurden mit einer geeichten Stoppuhr ermittelt.

Die Berechnung der Schwächungskoeffizienten geschah in der gleichen Weise wie bei App. 15 und 17 für Halbraumstrahlung. Die Intensität von Höhen- und Reststrahlung wurde vor und nach den Schwächungsmessungen im 10-cm-Pb-Panzer des Höhenstrahlungslaboratoriums zu 1,57 Ionen cm^{-3} sec^{-1} bei einem mittleren Barometerstande von 755 mm Hg ermittelt. Bei dem gleichen Barometerstande sind auch die Schwächungsmessungen hinter 15 cm Fe bzw. Pb ausgeführt worden, um Luftdruckkorrektionen bei der Höhenstrahlungsintensität zu vermeiden. Die Kalium-Intensität beträgt hinter 15 cm Pb nur noch 0,10 Ionen cm^{-3} sec^{-1} (gemessene Gesamtintensität 1,67 Ionen cm^{-3} sec^{-1}; Höhen + Reststrahlung 1,57 Ionen cm^{-3} sec^{-1}). Ein Ansteigen der Höhenstrahlungsintensität, wie es schon bei Barometerstandserniedrigung um einige mmHg erfolgt, würde die Wirkung der Kalium-Gammastrahlungsintensität bereits verdeckt haben.

Wie die Tabellen 7, 8 und 9 zeigen, bestätigen sich die mit den Apparaten 15 und 17 gemessenen Schwächungskoeffizienten. Dar-



Figur 5.

Schwächung der Kalium-Gammastrahlung in Kohle-, Eisen- und Bleiabsorbern von gleicher Schichtdicke.

über hinaus werden zwischen 10 und 15 cm Pb noch kleinere gefunden. Sie ergeben Gammastrahlen mit noch größerer Durchdringungsfähigkeit, als sie bisher gemessen worden sind.

Die Schwächung der Kalium-Gammastrahlung in Absorbern von gleicher Schichtdicke, aber verschiedener Dichte (Kohle, Eisen und Blei), ist in Fig. 5 dargestellt.

Tabelle 7.

Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung für Eisen. Gemessen mit Hochdruckapparatur (Auflademethode) bei Halbraumstrahlung. Einstrahlungsfläche 2200 cm².

Fe—Absorberstärke in %	Intensität in Ionen cm^{-3} $sec.^{-1}$ (Max. Schwankung (d. Meßreihen in %	$\frac{Ix}{Io} = e^{-\mu d}$	μd	μ_{Fe}
0	8,59 ± 1,5 %	für 0 – 5 cm_{Fe} $\frac{1,58}{8,59} = 0,1840$	1,692	0,34 cm^{-1}
5	1,58 ± 1,3 %	„ 5 – 10 „ $\frac{0,38}{1,58} = 0,2403$	1,42	0,28 „
10	0.38 ± 2,0 %	„ 0 – 10 „ $\frac{0,38}{8,59} = 0,0442$	3,12	0,31 „

Absorptionsmessungen bei verkleinerter Einstrahlungsfläche (1760 cm²) wegen fehlenden Panzermaterials.

0	6,70 ± 1,3 %	für 0 — 5 cm_{Fe} $\frac{1,30}{6.70} = 0\,1940$	1,640	0,33 cm^{-1}
5	1,30 ± 1,5 %	„ 5 – 10 „ $\frac{0,36}{1,30} = 0,2270$	1 284	0,26 „
10	0,36 ± 1,5 %	„ 10 – 15 „ $\frac{0,19}{0,36} = 0,5275$	0,639	0,13 „
15	0,19 ± 1,7 %	„ 0 – 15 „ $\frac{0\,19}{6,70} = 0,0283$	3,56	0,24 „
		„ 0 – 10 „ $\frac{0,36}{6,70} = 0,0537$	2,92	0,29 „

Die analogen Messungen an Blei und Kohle (Brikett) als Absorber sind in Tab. 8 und 9 zusammengefaßt. Die Messungen an Brikett wurden durchgeführt, um vielleicht Unterschiede der Schwächung in leichten und schweren Substanzen festzustellen und zu sehen, wie weit das Gesetz der Schwächung proportional der Elektronendichte bei Kalium-Gammastrahlen erfüllt ist. (Vgl. Der Massenschwächungskoeffizient, S. 35.)

Tabelle 8.

Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung für Blei. Gemessen mit Hochdruckapparatur (Aufladem ethode) bei Halbraumstrahlung. Einstrahlungsfläche 2200 cm².

Pb-Absorberstärke in cm	Intensität in Ionen cm^{-3} sec^{-1} (Max. Schwankung d. Messereih. i. %)	$\frac{Ix}{Io} = e^{-\mu d}$	μd	μ_{Pb}
0	8,59±1,5%	für 0— 5 cm_{Pb} $\frac{0,61}{8,50} = 0,0710$	2.644	0,53 cm^{-1}
5	0,61±1,6%	„ 0—10 „ $\frac{0,18}{0,61} = 0,29,50$	1,220	0,24 cm^{-1}
10	0,18±1,5%	„ 10—15 „ $\frac{0,10}{0,18} = 0,5555$	0,588	0,14 cm^{-1}
15	0,10±1,9%	„ 5—15 „ $\frac{0,10}{0,61} = 0,1640$	1,808	0,18 cm^{-1}
		„ 0—10 „ $\frac{0,18}{8,59} = 0,0210$	3,87	0,39 cm^{-1}
		„ 0—15 „ $\frac{0,10}{8.59} = 0,0116$	4,45	0,30 cm^{-1}

Tabelle 9.

Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung für Kohle (Brikett). Gemessen mit Hochdruckapparatur (Aufladem ethode) bei Halbraumstrahlung. *Verkleinerte* Einstrahlungsfläche 1760 cm².

Brikett-Absorberstärke in cm	Intensität in Ionen cm^{-3} sec^{-1} (Max. Schwankung d. Messreih. i. %)	$\frac{Ix}{Io} = e^{-\mu d}$	μd	μ_{Kohle}
0	6,70±1,3%	für 0— 4,3 cm $\frac{5,37}{6,70} = 0,801$	0,222	0,052 cm^{-1}
4,3	5,37±1,0%	„ 4,3— 8,7 „ $\frac{4,39}{5,37} = 0,818$	0,200	0.046 cm^{-1}
8,7	4,39±0,9%	„ 8,7—13,0 „ $\frac{3,66}{4,39} = 0,834$	0,181	0,042 cm^{-1}
13,0	3,66±1,1%	„ 0— 8,7 „ $\frac{4,39}{6,70} = 0,655$	0,423	0,049 cm^{-1}
		„ 0—13,0 „ $\frac{3,66}{6 70} = 0,547$	0,603	0.046 cm^{-1}

2. Messungen mit Zählrohr.

a) Apparatur.

Die Schwächungsmessungen mit dem Zählrohr wurden ausgeführt, um etwaige Unterschiede in den Ergebnissen mit Zählrohr und Ionisationskammer bei gleicher Anordnung der Absorber festzustellen.

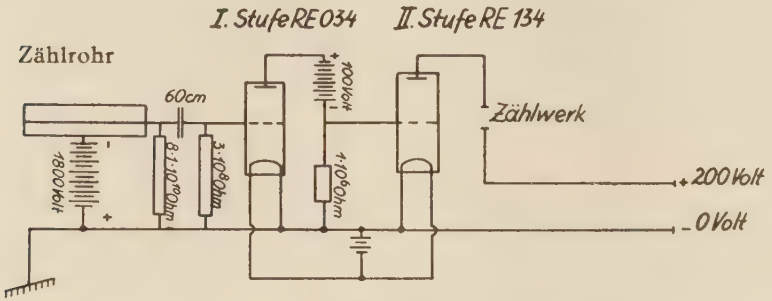
Konstanten des Zählrohrs.

Durchmesser (innen)	:	28 mm
Wirksame Drahtlänge	:	70 mm
Wandstärke	:	1 mm

(Material: Eisen-Mannesmannrohr)

Die Registrierung der einzelnen Zählrohrstöße erfolgte mit Verstärker und mechanisch registrierendem Zählwerk.

Aus dem Schaltrohr (Fig. 6) sind alle weiteren Einzelheiten erkennbar.



Figur 6.

Zur Ermittlung des günstigsten Arbeitsbereiches wurde die Stoßzahl in Abhängigkeit von der angelegten Spannung bestimmt. Diese Charakteristik des Zählrohres ist in Fig. 7 dargestellt. Die Anfangsspannung liegt bei 1365 Volt. Wie aus der Charakteristik weiter zu ersehen ist, bleibt zwischen 300—500 Volt über Anfangsspannung die Stoßzahl fast konstant. Etwaige Schwankungen der Hochspannungsbatterie sind also in diesem Bereich ohne nennenswerten Einfluß; sie sind auch nie beobachtet worden. Als Betriebsspannung wurden daher 1765 Volt gewählt, also 400 Volt über Anfangsspannung, die einer Hochspannungsbatterie von 1800 Volt (18 Anodenbatterien von je 100 Volt) entnommen wurden. Die Anfangsspannung des Zählrohres wurde täglich kontrolliert und blieb während der gesamten Meßzeit konstant.

Der Meßort war der gleiche wie für die Ionisationskammern bei Halbraumstrahlung. Bei den kleinen Abmessungen des Zählrohres konnte jedoch ein 15 cm starker Pb-Panzer benutzt werden, um die Intensität der Höhen-, Erd- und Umgebungsstrahlung noch mehr zu verkleinern. Der Panzer war nur nach der Seite zum Kaliwürfel offen; hier wurden die verschiedenen Absorber in den Strahlengang eingeschaltet.

b) Meßmethode und Ergebnisse.

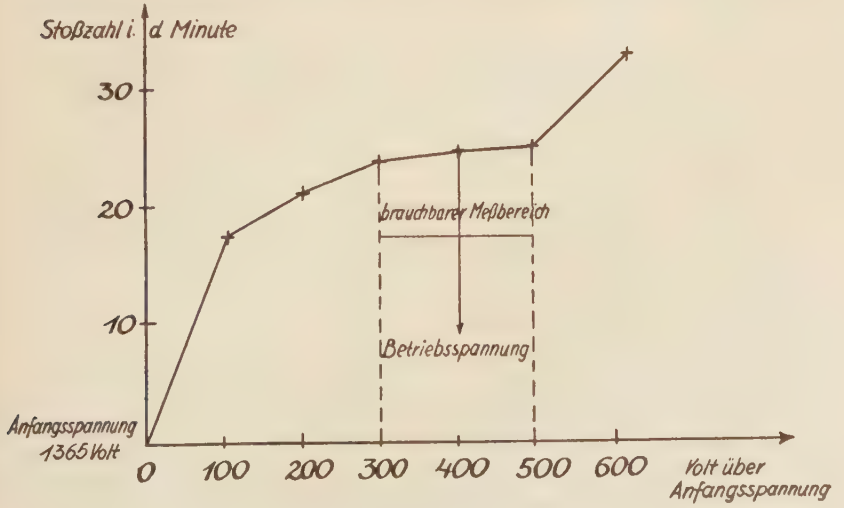
Die Intensität von Rest- und Höhenstrahlung wurde durch Abschirmung der Kalium-Strahlung durch 15 cm Pb bestimmt. Die

mit der Hochdruckapparatur ausgeführten Messungen hatten ja gezeigt, daß hinter 15 cm Pb nur noch etwa 1 % der Kalium-Gammastrahlung wirksam ist. Für Schwächungsmessungen bis zu Absorberstärken von 5 cm Pb kann man daher die hinter 15 cm Pb noch wirksame Kalium-Gammastrahlung vernachlässigen und die hinter 15 cm Pb gemessenen Intensitäten allein auf die Wirkung von Höhen- und Reststrahlung zurückführen. In den Zahlenangaben der folgenden Tabellen ist diese Intensität bereits von allen Werten abgezogen, so daß nur die Intensität der Kalium-Gammastrahlung hinter den verschiedenen Absorbern angegeben ist.

Zur Kontrolle der Empfindlichkeit besonders wegen Temperaturschwankungen wurde an jedem Meßtag die Intensität ohne Absorber und die Intensität hinter 15 cm Pb (Rest- und Höhenstrahlung) bestimmt.

Die Messungen wurden wie folgt ausgeführt: Zunächst wurde die Intensität o h n e jeden Absorber ermittelt, dann die Intensität hinter dem zu untersuchenden Absorber und schließlich die natürliche Zerstreuung (Rest- + Höhenstrahlung) nach Abschirmung mit 15 cm Pb. Nun wurde nochmals in umgekehrter Reihenfolge durchgemessen.

Von jedem Meßpunkt wurden über 5000 Stöße gezählt; mithin liegt der mittlere statistische Fehler jeder Intensitätsangabe unter ± 1,5 %. Die Berechnung der Schwächungskoeffizienten aus den Zählrohrmessungen wurde wie bei den Messungen mit Ionisationskammern vorgenommen.



Figur 7.
Charakteristik des Zählrohrs.

Tab. 10. Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung für Eisen. Gemessen mit Zählrohr 38 bei Halbraumstrahlung im Vergleich mit den Ionisationskammer-Ergebnissen.

Fe – Absorberstärke in cm	$\frac{Ix}{Io} = e^{-\mu d}$ (Intensität in Stoßzahl/Min.)	μd	Zählrohr 38 μ_{Fe}	Ionisat. Kam. App. 15 μ_{Fe}
0,00—0,95	$\frac{42,6}{59,2} = 0,7200$	0,328	0,35 cm^{-1}	0,39 cm^{-1}
0,00—1,90	$\frac{16,5}{30,0} = 0,5502$	0,597	0,32 cm^{-1}	0,36 cm^{-1}
0,00—2,85	$\frac{17,9}{47,1} = 0,3802$	0,967	0,34 cm^{-1}	0,34 cm^{-1}
0,00—3,80	$\frac{24,5}{75,8} = 0,3230$	1,130	0,30 cm^{-1}	0,34 cm^{-1}
0,00—5,00	$\frac{8,1}{40,3} = 0,2010$	1,605	0,32 cm^{-1}	0,37 cm^{-1}

Ferner wurden noch folgende Schwächungskoeffizienten aus den angegebenen Intensitätswerten errechnet:

Fe-Absorberstärke in cm	Zählrohr 38	Ionisat. Kam. App. 15
0,00—0,95 cm	$\mu_{Fe} = 0,35\ cm^{-1}$	$\mu_{Fe} = 0,39\ cm^{-1}$
0,95—2,85 cm	$\mu_{Fe} = 0,32\ cm^{-1}$	$\mu_{Fe} = 0,32\ cm^{-1}$
2,85—5,00 cm	$\mu_{Fe} = 0,30\ cm^{-1}$	$\mu_{Fe} = 0,40\ cm^{-1}$

Tab. 11. Schwächungskoeffizienten der Kalium-Gammastrahlung für Blei. Gemessen mit Zählrohr 38 bei Halbraumstrahlung.

Pb – Absorberstärke in cm	$\frac{Ix}{Io} = e^{-\mu d}$ (Intensitäten in Stosszahl/Min.)	μd	μ_{Pb}	Mittelwerte
0,00 - 0,55	$\frac{36,8}{49,5} = 0,7434$	0,296	0,54 cm^{-1}	
0,00—1,65	$\frac{21,9}{54,6} = 0,4010$	0,914	0,55 cm^{-1}	
0,00—2,20	$\frac{14,8}{53,5} = 0,2765$	1,285	0,58 cm^{-1}	0,57 cm^{-1}
0,00 - 2,20	$\frac{10,8}{36,7} = 0,2940$	1,224	0,56 cm^{-1}	
0,00—2,75	$\frac{8,3}{41,8} = 0,1978$	1,620	0,57 cm^{-1}	0,58 cm^{-1}
0,00—2,75	$\frac{9,8}{51,0} = 0,1920$	1,650	0,58 cm^{-1}	
0,00—4,00	$\frac{5,0}{44,5} = 0,1122$	2,187	0,55 cm^{-1}	Ionisationskammer 15 zum Vergleich 0,55 cm^{-1}
0,00—5,00	$\frac{3,5}{50,7} = 0,0690$	2,673	0,54 cm^{-1}	

Außerdem wurden noch folgende Schwächungskoeffizienten aus den angegebenen Intensitätswerten berechnet:

Schichtdicke in cm Pb	
0,00—0,55 cm	$\mu_{Pb} = 0{,}54\ cm^{-1}$
0,55—1,65 cm	„ $= 0{,}56\ cm^{-1}$
1,65—2,75 cm	„ $= 0{,}66\ cm^{-1}$
2,75—4,00 cm	„ $= 0{,}42\ cm^{-1}$
4,00—5,00 cm	„ $= 0{,}48\ cm^{-1}$

3. Vergleich der mit Zählrohr und Ionisationskammern erhaltenen Schwächungskoeffizienten.

Bei dem Vergleich der mit Zählrohr und Ionisationskammer ermittelten Schwächungskoeffizienten war zunächst zu untersuchen, ob der Unterschied in der Wandstärke von Ionisationskammer (2,5—3,0 mm) und Zählrohr (nur 1,0 mm) von Einfluß ist. Es konnte möglich sein, daß eine von der Primärstrahlung im Absorber erzeugte Sekundärstrahlung durch die 3 mm starke Wandung der Ionisationskammer erheblich absorbiert wird, während sie bei Zählrohren mit nur 1 mm Wandstärke noch wirksam ist und so eine größere Intensität der Primärstrahlung vortäuscht. Um die gleichen Schwächungsverhältnisse wie bei Ionisationskammern zu erhalten, wurde Zählrohr 38 mit einem 2,3 mm starken Eisenzylinder umgeben (Gesamtwandstärke jetzt 3,3 mm Fe) und die Bestimmung des Schwächungskoeffizienten hinter 0,95 cm Fe wiederholt.

Es wurden gezählt:

I_0 = 37 330 Stöße in 390 Minuten = 96,7 Stöße/Min. ± 0,5 %
$I_{0{,}95\ cm\ Fe}$ = 20 700 „ „ 255 „ = 81,2 „ ± 0,7 %
$I_{0{,}95\ cm\ Fe}$ = 13 960 „ „ 342 „ = 40,8 „ ± 0,8 %
(Rest- + Höhenstr.)

Hieraus berechnet sich der Schwächungskoeffizient zu:

$$\frac{I_{0{,}95\ cm\ Fe}}{I_0} = \frac{40{,}4}{55{,}9} = 0{.}723 = e^{-\mu d}\ ;\ \mu d = 0{.}324$$

$$\mu_{Fe} = 0{.}342\ cm^{-1}$$

Ohne Eisenzylinder wurde, wie aus Tab. 11 ersichtlich $\mu_{Fe} = 0{,}346\ cm^{-1} \sim 0{,}35\ cm^{-1}$ bestimmt. Zwischen beiden Messungen ergibt sich also nur ein Unterschied von 1 %, der in der Meßfehlergrenze liegt. Die Abweichungen der mit Zählrohr und Ionisationskammer bestimmten Schwächungskoeffizienten voneinander sind daher wohl kaum auf Streustrahlungseinflüsse zurückzuführen, sondern werden in der verschiedenen Arbeitsweise von Zählrohr und Ionisationskam-

mer begründet sein. Zur weiteren Diskussion dieser Abweichungen sind in Tab. 12 sämtliche Mittelwerte der mit den verschiedenen Apparaturen zwischen 0 und 5 cm Pb bzw. Fe gemessenen Schwächungskoeffizienten zusammengestellt.

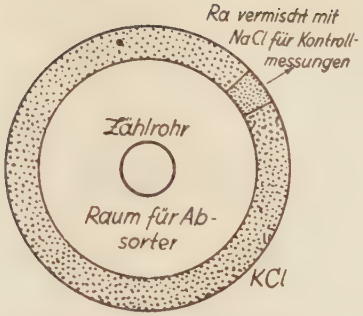
Tabelle 12.

Apparatur	Schwächungskoeffizient zwischen 0,0—5,0 cm Eisen	Blei
App. 15 (Luft, Normaldruck)	0,37 cm^{-1}	0,55 cm^{-1}
App. 17 (Xenon)	0,35 „	0,55 „
Hochdruck-Apparatur 7	0,34 „	0,53 „
Mittel der Ionisationskammerwerte	0,35 „	0,55 „
Zählrohrwerte	0,32 „	0,54 „

Ein Vergleich der mit Ionisationskammer und Zählrohr gemessenen Absorptionskoeffizienten zeigt, daß Messungen mit Ionisationskammern etwas größere Schwächungskoeffizienten ergeben als Zählrohrmessungen. Erst bei höherer Gasdichte in den Ionisationskammern gleichen sich die Ergebnisse denen des Zählrohres an. Die geringen Unterschiede in den Ergebnissen von Zählrohr und Ionisationskammern sind daher wahrscheinlich auf die verschiedene Arbeitsweise der beiden Apparaturen zurückzuführen; denn das Zählrohr zählt jeden durchsetzenden Gammastrahl unabhängig von seiner Energie, sofern eine bestimmte Mindestenergie nicht unterschritten wird. Dagegen gibt die Ionisationskammer die Zahl der gebildeten Ionenpaare in Abhängigkeit von der Energie des Gammastrahls und seiner spezifischen Ionisation an.

Bei harten Gammastrahlen (Messungen hinter Absorbern) wird die von ihnen ausgelöste Sekundärstrahlung auch noch bei höheren Fülldrucken das gesamte Ionisationsvolumen durchsetzen und somit eine größere Zahl von Ionen pro Zentimeter Weglänge bilden als bei Normaldruck. Dagegen wird die von den weichen Gammastrahlen (Messungen ohne Absorber) ausgelöste Sekundärstrahlung infolge ihrer geringeren Energie nicht mehr in der Lage sein, das gesamte Gasvolumen bei hoher Gasdichte zu durchdringen. Bei höherer Gasdichte wird somit die von den harten, also energiereicheren Gammastrahlen ausgelöste Sekundärstrahlung in der Gesamtionisation wirksamer, während die Wirkung der von den weichen Gammastrahlen ausgelösten Sekundärstrahlung zurückgeht. Der Energieabfall zwischen 0—5 cm Fe bzw. Pb ist daher bei hoher Gasdichte nicht so groß als bei Luftfüllung normaler Dichte.

Ähnlich lassen sich die Unterschiede in den Ergebnissen von Mühlhoff und Běhounek erklären. Mühlhoff erhält aus seinen Zählrohrmessungen bei allseitigem Strahleneinfall (Fig. 8)



Figur 8.

als Schwächungskoeffizient der Kalium-Gammastrahlung für Blei $\mu_{Pb} = 0{,}51\ cm^{-1}$; dieser Wert wird durch Vergleichsmessungen mit den Gammastrahlen von Ra C und Th C″ in folgender Weise auf $\mu_{Pb} = 0{,}59\ cm^{-1}$ korrigiert. Mühlhoff bestimmt mit seiner Zählrohrapparatur die Absorptionskoeffizienten für Ra C zu $\mu_{Pb} = 0{,}45\ cm^{-1}$ und für Th C″ zu $0{,}40\ cm^{-1}$. Aus den von Kohlrausch und anderen mit Ionisationskammern und Parallelstrahlenbündel ermittelten Schwächungskoeffizienten von $\mu_{Pb} = 0{,}53\ cm^{-1}$ für Radium und $\mu_{Pb} = 0{,}46\ cm^{-1}$ für Thorium leitet Mühlhoff einen „Übergangsfaktor" von $\frac{0{,}53}{0{,}45}$ (Radium) $= \frac{0\,46}{0{,}40}$ (Thorium) $= 1{,}15$ ab, so daß für Kalium $0{,}51 \cdot 1{,}15 = 0{,}59\ cm^{-1}$ erhalten wird.

Entsprechend verfährt Běhounek. Eine Korrektion auf Parallelstrahlenbündel bringt er aber nicht an, weil bei seiner Apparatur Übereinstimmung mit den von Kohlrausch gewonnenen Werten für Ra C und Thorium C″ gefunden wurde.

Auch die unkorrigierten Zählrohrergebnisse von Mühlhoff ergeben einen kleineren Schwächungskoeffizienten ($\mu_{Pb} = 0{,}51\ cm^{-1}$) als die Ionisationskammermessung von Běhounek ($\mu_{Pb} = 0{,}58\ cm^{-1}$). Obwohl die Messungen unter ganz verschiedenen Meßbedingungen ausgeführt wurden, liegen ihre Ergebnisse in der Richtung, wie man sie nach den über die verschiedene Arbeitsweise von Zählrohr und Ionisationskammer gemachten Ausführungen erwarten sollte. Mühlhoff scheint danach nicht nur auf Parallelstrahlenbündel, sondern auch auf die Wirkungsweise von Ionisationskammern korrigiert zu haben.

Tabelle 13.

Zusammenstellung aller mit Ionisationskammern gewonnenen Ergebnisse.

Apparate 15	17	7	Mittel μ cm^{-1}	15	17	7	Mittel μ/ρ cm^{2}g^{-1}	$(\mu/\rho)_x \frac{(Z/A)_{H_2O}}{(Z/A)_x}$	Absorberstärke in cm H_2O
Eisen-Absorber (ρ = 7,7)									
0— 5 cm	0,37	0,35	0,34	0,35	0,047	0,045	0 044	0,046	0.046 · 1,19 = 0,055	0— 39
5—10 cm	0,28	0,21	0,27	0,25	0,036	0,027	0,034	0,031	0,031 · 1,19 = 0,038	39— 78
10—15 cm	—	—	0,13	0,13	—	—	0,017	0,017	0 017 · 1,19 = 0,020	78—117
0—10 cm	0,32	0,28	0,29	0 31	0,042	0,036	0.037	0,038	0,038 · 1,19 = 0,045	0— 78
0—15 cm	—	—	0,24	0,24	—	—	0,031	0,031	0,031 · 1,19 = 0,037	0—117
Blei-Absorber (ρ = 11,1)									
0— 5 cm	0.55	0,55	0,53	0,55	0,049	0,049	0,048	0,049	0 049 · 1,41 = 0,069	0—55,5
5—10 cm	0,18	0,14	0,24	0,19	0,016	0,013	0,022	0,017	0,017 · 1.41 = 0,024	55,5—111
15—15 cm	—	—	0.14	0.14	—	—	0,013	0,013	0.013 · 1.41 = 0,018	111—167
0—10 cm	0,37	0.35	0,39	0,37	0,033	0,031	0,035	0,033	0,033 · 1,41 = 0,046	0—111
0—15 cm	—	—	0,30	0,30	—	—	0,027	0,027	0,027 · 1,41 = 0,038	0—167
Brikett-Absorber (ρ = 1,25)[1]									
0— 4,3 cm				0.052				0,042	0,042 · 1,11 = 0,047	0— 5,4
4,3— 8,7 cm				0,046				0,037	0,037 · 1,11 = 0,041	5,4—10,9
8,7—13,0 cm				0,042				0,034	0,034 · 1,11 = 0,038	10,9—16,2
0—13,0 cm				0,049				0,039	0,039 · 1,11 = 0,043	0—10,9
0— 8,7 cm				0,046				0,037	0,037 · 1,11 = 0,041	0—16,2

[1]) Brikett-Absorber nur mit Nr. 7 gemessen.

D. Zusammenfassung sämtlicher mit Ionisationskammern erhaltenen Ergebnisse.

a) Der Massenschwächungskoeffizient.

Tabelle 13 enthält noch einmal sämtliche mit Ionisationskammern zwischen 0—15 cm Blei, Eisen und Kohle gemessenen Schwächungskoeffizienten (μ) die Massenschwächungskoeffizienten (μ/ρ) sowie diese auf Elektronendichte umgerechnet.

$$\left[\left(\mu/\rho\right)_x \frac{(Z/A)_{H_2O}}{(Z/A)_x} \right]$$

A = Atomgewicht des Absorbers
Z = Ordnung des Absorbers

Dabei wird angenommen, daß die Schwächung nur an den Schalenelektronen erfolgt, deren Dichte ja Z/A proportional ist. Während eine solche Annahme für Strahlen mittlerer Energie gerechtfertigt sein dürfte, ist sie für energiereiche Strahlen fraglich. So erhält Regener (10) bei Höhenstrahlung bessere Übereinstimmung, wenn nur die Dichte der einzelnen Absorbersubstanzen berücksichtigt wird. Andererseits erzielten Steinke und Tielsch (11) bei ihren Schwächungsmessungen an Höhenstrahlen bessere Übereinstimmung mit auf Elektronendichte korrigierten Schwächungskoeffizienten. Wie man aus Tab. 13 ersieht, liefern die für die Absorberstärken 0—5 cm errechneten Massenschwächungskoeffizienten (μ/ρ) der Kalium-Gammastrahlung bedeutend bessere Übereinstimmung als die auf Elektronendichte bezogenen trotz der erheblichen Dichteunterschiede des Absorbers (11,1; 7,8; 1,25). Die Abweichung ist nicht größer als 15 %, während die auf Elektronendichte umgerechneten Massenschwächungskoeffizienten eine solche von 38 % aufweisen. Erst zwischen 10—15 cm Absorberstärke scheint sich Übereinstimmung einzustellen. Jedoch läßt das vorhandene Material bestimmtere Angaben nicht zu.

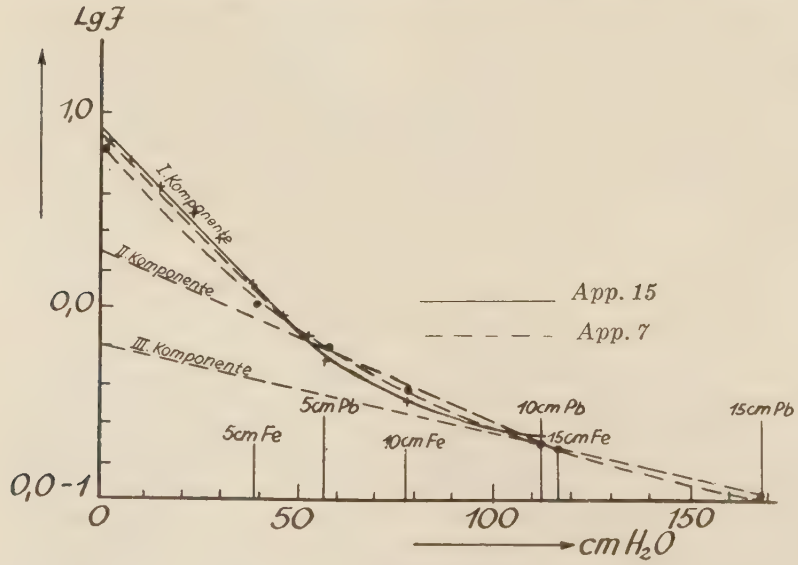
b) Intensitätsverteilung und Durchdringungsfähigkeit der Kalium-Gammastrahlung.

Die Intensitätsabnahme der Kalium-Gammastrahlung nach Durchsetzen verschieden dicker Blei-, Eisen- und Wasserschichten ist in Fig. 9 dargestellt. Als Ordinate sind die Logarithmen der Intensitäten, als Abzisse die Dicken der einzelnen Absorber aufgetragen. Die Absorptionskurve läßt sich aus drei Geraden mit verschiedener Neigung zusammensetzen. Man kann danach etwa 3 Komponenten annehmen. Durch Extrapolation auf die Abzisse 0 erhält man die Logarithmen der Anfangsintensitäten der einzelnen Komponenten, woraus sich der prozentuale Anteil der 3 Komponenten an der Gesamtintensität schätzen läßt. (Tab. 14.)

Tabelle 14.

Blei	Eisen	Wasser	log I	I	I in %	μ_{Pb}	mittl. Reichweite $^1/\mu_{Pb}$ in cm: Blei	KCl
0— 5,0 cm	0,0— 7,2 cm	0,0— 56 cm	0,9	7,0	75	0,55	1,8	10
5,0—10,0 cm	7,2—15,4 cm	56—112 cm	0,3	2,0	19	0,19	5,3	30
10—15,0 cm	15,4—21,6 cm	112—168 cm	0,8—1	0,6	6	0,14	7,1	40

Nach Durchsetzen einer Schicht von 5 cm Pb (= 7,2 cm Fe = 56 cm H_2O) sind 75 % der gesamten Kalium-Gammastrahlung bereits absorbiert. Der Absorptionskoeffizient dieser ersten Komponente $\mu_{Pb} = 0{,}55\ cm^{-1}$ entspricht der Durchdringungsfähigkeit der härtesten Komponente von Ra C $\mu_{Pb} = 0{,}53\ cm^{-1}$. Die beiden anderen Komponenten, die nur etwa 25 % der gesamten Strahlungsintensität ausmachen, übertreffen an Durchdringungsfähigkeit die härteste bisher bekannte Gammastrahlung von Th C″ $\mu_{Pb} = 0{,}46\ cm^{-1}$ um das Dreifache. Ihre Schwächungskoeffizienten $\mu_{Pb} = 0{,}19\ cm^{-1}$ und $\mu_{Pb} = 0{,}14\ cm^{-1}$ sind also die kleinsten der bisher für Strahlen radioaktiver Substanzen gemessenen. Sie reichen nahe an das Gebiet weicher Höhenstrahlen heran, deren Schwächungskoeffizient von Suckstorff mit Ionisationskammern zwischen 1500—5500 m Höhe über dem Erdboden mit $\mu_{Pb} = 0{,}06\ cm^{-1}$ ermittelt wurde. (Errechnet



Figur 9.

Schwächung der Kalium-Gammastrahlen in Blei, Eisen und Wasser.

aus $\mu_{H_2O} = 0{,}0053\ cm^{-1}$). Es sind also Gammastrahlen mit so hoher Durchdringungsfähigkeit gefunden worden, wie sie bisher an anderen radioaktiven Substanzen noch nicht nachgewiesen werden konnten.

Die von Kolhörster gemessene harte Komponente der Kalium-Gammastrahlung $\mu_{Pb} = 0{,}29\ cm^{-1}$ (errechnet aus $\mu_{Fe} = 0{,}20\ cm^{-1}$) ist, wie aus Tab. 13 zu ersehen, schon im Bereich zwischen 5—10 cm Absorberdicke bestätigt.

IV. Die Aktivität des Kaliums.

Von der gesamten Gammastrahlung des Kaliums besitzen etwa 75 % die gleiche Durchdringungsfähigkeit ($\mu_{Pb} = 0{,}55\ cm^{-1}$) wie die vom Radium C ($\mu_{Pb} = 0{,}53\ cm^{-1}$) und Thorium C″ ($\mu_{Pb} = 0{,}46\ cm^{-1}$) ausgesandten Gammastrahlen. Entsprechend wie bei Radium und Thorium scheint auch für Kalium die Aussendung von Kern-Betastrahlen mit der Aussendung harter Gammastrahlen verbunden zu sein. Für die Kalium--Betastrahlen bestimmte M. Kuban (14) als Schwächungskoeffizient $\mu_{Al} = 28\ cm^{-1}$; für Radium und Thorium-Betastrahlen gelten $\mu_{Al} = 13\ cm^{-1}$ und $\mu_{Al} = 22\ cm^{-1}$. Man kann weiter annehmen, daß die Kalium-Gammastrahlen ebenfalls auf die Aktivität des Kalium-Isotops K 41 zurückzuführen sind wie die Betastrahlen, da Hevesy (12), Biltz und Ziegert (13) nachweisen konnten, daß nur das Isotop K 41 als Ausgangspunkt der Kalium-Beta-Strahlung anzusehen ist.

Die restlichen 25 % der Kalium-Gammastrahlung übertreffen mit ihren Schwächungskoeffizienten ($\mu_{Pb} = 0{,}19\ cm^{-1}$ und $\mu_{Pb} = 0{,}14\ cm^{-1}$) die Durchdringungsfähigkeit der Radium- und Thorium-Gammastrahlen um das Dreifache. Daher sollten sich auch Betastrahlen am Kalium mit einem Schwächungskoeffizienten nachweisen lassen, der kleiner wäre als die Schwächungskoeffizienten der Radium- und Thorium-Betastrahlen. Die von Bocciarelli (15) gefundene sehr harte Betastrahlung mit Geschwindigkeiten von $2{,}3 \cdot 10^{10}\ cm\ sec^{-1}$ liegt indessen noch immer im Gebiet der von Radium und Thorium ausgesandten Betastrahlen hoher Geschwindigkeit.

Vielleicht ist die Entstehung dieser äußerst harten Gammastrahlung auf die Aussendung einer Alphastrahlung beim Kalium zurückzuführen. Auf die Existenz einer solchen Alphastellung könnte man aus dem Heliumvorkommen in Kaliummineralien schließen, [vergl. Kolhörster (2)]. Auf Grund theoretischer Untersuchungen kommt Gamow ebenfalls zur Annahme einer Alphastrahlung beim Kalium. Indessen scheint das Heliumvorkommen auch durch radioaktive Substanzen erklärbar, wofür Hahn (18) neuerdings experimentelle Beiträge geliefert hat. Der Nachweis einer Alphastrahlung am Kalium dürfte natürlich bei der zu erwartenden äußerst kleinen Teilchenzahl nicht einfach sein, sich vielleicht aber mit dem Geigerschen Spitzenzähler [vergl. (2), (16), (17)] ausführen lassen.

V. Kalium als Ionisator in der Atmosphäre.

Die in geringen Höhen über dem Erdboden beobachtete Ionisation der Atmosphäre ist neben anderen ionenbildenden Vorgängen (Lenard-Effekt, Höhenstrahlung, Ionenerzeugung durch Ionenstoß bei Gewittern usw.) auf die Wirkung von Gammastrahlen der im Erdboden enthaltenen radioaktiven Substanzen zurückzuführen. In erster Linie kommen hierfür die Gammastrahlen von Radium, Thorium und Kalium in Frage. Gerade Kalium ist wegen seiner hohen Konzentration im Boden für die Gesamtwirkung dieser drei Strahlungsquellen von Wichtigkeit. Die einzelnen Elemente sind zu ungefähr gleichen Teilen an der Ionisation beteiligt. Neue Schätzungen dieser Erdstrahlung in verschiedenen Höhen über dem Erdboden wurden unter Berücksichtigung der Kaliumstrahlung zuerst von Kolhörster (2), dann von Suckstorff (8) und Hess (5) angegeben, wobei entweder nur die harte (Kolhörster) oder nur die weiche (Suckstorff) Kalium-Komponente berücksichtigt worden ist. In Tab. 15 ist daher der Intensitätsabfall der harten und weichen Kalium-Komponenten geschätzt. Die beiden harten Komponenten (μ_{Pb} = 0,19 cm^{-1}, $\mu_{Luft} = 2{,}3 \cdot 10^{-5}$ cm^{-1}; $\mu_{Pb} = 0{,}14$ cm^{-1}, $\mu_{Luft} = 1{,}7 \cdot 10^{-5}$ cm^{-1}) sind jedoch zu einer einzigen mit dem mittleren Schwächungskoeffizienten $\mu_{Luft} = 2{,}0 \cdot 10^{-5}$ cm^{-1} zusammengefaßt, da ihre Gesamtintensität nur 25 % der Kalium-Gammastrahlung ausmacht. Die Umrechnung der Schwächungskoeffizienten von Blei auf Luft ist entsprechend den Ergebnissen in Tab. 13 nach dem Dichteverhältnis vorgenommen worden. Als mittlere Ionisation des Kaliums am Erdboden wurden 1,0 Ionen cm^{-3} sec^{-1} zu Grunde gelegt und die Berechnung des Intensitätsabfalls nach dem Φ (μH)-Gesetz ausgeführt (vgl. Meyer-Schweidler Radioaktivität S. 72, Leipzig 1927).

Schon bei der mittleren Bodenintensität der Kalium-Gammastrahlung von 1,0 Ionen cm^{-3} sec^{-1} und der Radium-Thorium-Intensität von 2,0 Ionen cm^{-3} sec^{-1} ergibt sich in etwa 650 m Höhe für beide die gleiche Intensität. Über 650 m Höhe hinaus ist die Ionisation der Atmosphäre durch Erdstrahlung fast ausschließlich durch die Wirkung der harten Kalium-Komponenten bedingt.

Tabelle 15.

Intensitätsabfall der Kalium-Gammastrahlung über dem Erdboden bei einer Bodenintensität von 1,0 Ionen cm^{-3} sec^{-1}.

Höhe über dem Erdboden in m	Komponente I ($\mu_{Pb} = 0{,}55\ cm^{-1}$) ($\mu_{Luft} = 6{,}6 \cdot 10^{-5}\ cm^{-1}$) Intensität in: %	Ionen cm^{-3} sec^{-1}	Komponente II + III ($\mu_{Pb} = 0{,}17\ cm^{-1}$) ($\mu_{Luft} = 2{,}0 \cdot 10^{-5}\ cm^{-1}$) Intensität in: %	Ionen cm^{-3} sec^{-1}	Gesamtintensität in Ionen cm^{-3} sec^{-1}
0	100	0,75	100	0,25	1,00
50	44	0,33	72	0,18	0,51
100	26	0,20	57	0,14	0,34
200	10	0,075	39	0,10	0,18
300	4	0,030	28	0,07	0,10
400	1,7	0,013	20	0,05	0,063
500	0,8	0,006	15	0,04	0,046
600	—	—	11	0,030	0,030
700	—	—	8	0,020	0,020
800	—	—	6	0,015	0,015
900	—	—	5	0,013	0,013
1000	—	—	4	0,010	0,010

VI. Zusammenfassung.

Der Intensitätsverlauf der Kalium-Gammastrahlung wurde an Eisen-, Blei- und Kohle-Absorbern bis zu Schichtdicken von 15 cm mit Ionisationskammern verschiedener Konstruktion und Gasfüllung untersucht, wobei sich die Verwendung von Edelgasen als vorteilhaft erwies. Ferner wurden auch mit einem Zählrohr Absorptionsmessungen vorgenommen. Die von Kolhörster gefundene bisher härteste Komponente der Kalium-Gammastrahlen konnte bestätigt und noch härtere nachgewiesen werden. Die Durchdringungsfähigkeit dieser harten Komponenten übertrifft die aller anderen bekannten radioaktiven Gammastrahlen um das Dreifache. Ihr Durchdringungsvermögen kommt dem weicher Höhenstrahlen sehr nahe.

Der Verlauf der Absorptionskurve deutet auf etwa 3 Komponenten mit den Schwächungskoeffizienten $\mu_{Pb} = 0{,}55\ cm^{-1}$, $\mu_{Pb} = 0{,}19\ cm^{-1}$ und $\mu_{Pb} = 0{,}14\ cm^{-1}$ hin, deren Anteile an der Gesamtintensität 75 %, 19 % und 6 % ausmachen.

Die von Mühlhoff und Běhounek zwischen 0—5 cm Pb ermittelten Schwächungskoeffizienten $\mu_{Pb} = 0{,}59\ cm^{-1}$ und $\mu_{Pb} = 0{,}58\ cm^{-1}$ stimmen mit den hier gefundenen $\mu_{Pb} = 0{,}55\ cm^{-1}$ zwischen 0—5 cm Pb ungefähr überein. Ihre etwas höheren Werte sind wahrscheinlich, wie die beiden Autoren auch betonen, neben der verschiedenen Arbeitsweise von Zählrohr und Ionisationskammer durch die geringen KCl-Mengen, welche sie benutzen, bedingt.

Die Absorption der Kalium-Gammastrahlen durch verschiedene Absorber geht der Dichte proportional. Die Massenschwächungskoeffizienten für Blei, Eisen und Kohle als Absorber geben bessere Übereinstimmung (Abweichung 15 %) als die auf Elektronendichte korrigierten Massenschwächungskoeffizienten (Abweichung 38 %).

Die geringen Unterschiede zwischen den Ergebnissen von Ionisationskammer und Zählrohr sind auf die verschiedene Arbeitsweise beider Meßinstrumente zurückzuführen.

Obwohl bei den Messungen kein Parallelstrahlenbündel verwandt wurde und Streustrahlungseinflüsse nicht vermieden werden

konnten, ergaben sich bei Voll- und Halbraumstrahlung übereinstimmende Ergebnisse.

Der Intensitätsverlauf der Kalium-Gammastrahlung ist auf Grund der gemessenen Schwächungskoeffizienten bis 1000 m Höhe neu berechnet worden.

Die Eve'sche Zahl für Kalium wurde zu 0,32 Ionen cm^{-3} sec^{-1} bestimmt.

Literatur.

1. N. R. Campbell and A. Wood: Proc. Camb. Phil. Soc. **14**, 15, 1906.
2. W. Kolhörster: Zs. f. Geophys. **6**, Heft 4—7 S. 343 u. ff., 1930. Naturw. **16**, 28, 1928.
3. W. Mühlhoff: Ann. d. Phys. **7**, 205, 1930.
4. F. Běhounek: Zs. f. Phys. **69**, 654, 1931.
5. V. F. Hess: Die Ionisierungsbilanz der Atmosphäre. Ergebn. d. kosmischen Physik Bd. II. Leipzig 1934.
6. K. W. F. Kohlrausch: Handb. d. Experimentalphys. Radioaktivität S. 71, 1928.
7. W. Kolhörster: Phys. Zs. **27**, 62, 1926.
8. G. A. Suckstorff: Die Höhenverteilung der Erd-, Luft- und Höhenstrahlung. Dissertation Berlin. Jena 1933.
9. V. Masuch: Zs. f. Phys. **79**, 264, 1932.
10. E. Regener: Phys. Zs. **34**, 321, 1933.
11. E. Steinke und Tielsch: Zs. f. Phys. **84**, 425, 1933.
12. G. Hevesy: Nature **120**, 838, 1927.
13. W. Biltz und H. Ziegert: Phys. Zs. **29**, 197, 1928.
14. M. Kuban: Wien. Berichte **137**, 241, 1928.
15. D. Bocciarelli: Lincei Rend. **17**, 830, 1933 Nr. 10.
16. W. Bothe und H. Fränz: Zs. f. Phys. **43**, 456, 1927.
17. H. Geiger und O. Klemperer: Zs. f. Phys. **49**, 753, 1928.
18. O. Hahn und H. J. Born: Naturw. **22**, 138, 1934.
19. Kolhörster und Tuwim: „Absorptionskoeffizienten der Höhenstrahlung" aus Erg. d. kosm. Physik. Bd. 1, Leipzig 1931.

Die vorliegende Arbeit wurde auf Anregung von Herrn Prof. Kolhörster unternommen und im Höhenstrahlungslaboratorium des Meteorologisch-Magnetischen Observatoriums in Potsdam ausgeführt. Herrn Prof. Kolhörster spreche ich für seine Unterstützung und sein förderndes Interesse sowie für die Überlassung der Institutsmittel meinen herzlichsten Dank aus.

Die Ionisationskammern stellte in dankenswerter Weise die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft zur Verfügung.

Ferner danke ich der Kaliforschungsanstalt (Kafa-Berlin) für die Bereitstellung von Panzermaterial und Kalisalzen.

Schließlich bin ich meinen Kameraden — insbesondere meinem Freunde cand. phil. Viktor Masuch, der am 13. Mai 1934 bei einer wissenschaftlichen Hochfahrt mit dem Ballon „Bartsch von Sigsfeld" den Tod fand — für Hilfe und Unterstützung bei der Aufstellung der Apparaturen aufrichtig dankbar.

Mein Lebenslauf.

Am 18. Mai 1909 wurde ich, Heinz Otto Karl Schildhauer als Sohn des jetzigen Rektors Otto Schildhauer zu Berlin geboren. Von Ostern 1916 bis Ostern 1922 besuchte ich das Staatliche Luisen-Gymnasium in der Turmstraße zu Berlin. Wohnungswechsel meiner Eltern machte meine Umschulung in das Luisenstädtische Gymnasium und Realgymnasium erforderlich. Ich gehörte dort der realgymnasialen Abteilung an. Ostern 1928 verließ ich das Luisenstädtische Gymnasium und Realgymnasium mit dem Zeugnis der Reife und hörte an der Friedrich-Wilhelm-Universität zu Berlin Vorlesungen über Physik, Geophysik, Mathematik und Philosophie. Meine Lehrer waren in Physik: Prof. Nernst, Prof. Planck, Prof. Wehnelt; in Geophysik: Prof. Kolhörster, Prof. Bartels; in Mathematik: Prof. Erh. Schmidt, Prof. von Mises, Prof. Bieberbach; in Philosophie: Prof. Dessoir, Prof. Spranger. Zur Förderung meiner musikalischen Interessen hörte ich noch vier Semester musikgeschichtliche Vorlesungen. Im Sommer 1931 begann ich unter Leitung von Prof. Kolhörster im Höhenstrahlungslaboratorium des Meteorologisch-Magnetischen Observatoriums in Potsdam meine Dissertation „Die Gammastrahlung des Kaliums", die ich jetzt zum Abschluß gebracht habe.

Heinz Schildhauer.